



TUGAS AKHIR - SF 141501

**ANALISA MOMEN TENSOR DAN PEMODELAN MEKANISME
PUSAT GEMPA BUMI WILAYAH SUMATERA SEPANJANG
TAHUN 2016 DENGAN MAGNITUDE ≥ 4.8 SR**

**Rahmat Ilmi Haqqiqi
NRP 1112 100 057**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. rer.nat. Bagus Jaya Santosa, S.U**

**JURUSAN FISIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



TUGAS AKHIR - SF 141501

**ANALISA MOMEN TENSOR DAN PEMODELAN
MEKANISME PUSAT GEMPA BUMI WILAYAH SUMATERA
SEPANJANG TAHUN 2016 DENGAN MAGNITUDE ≥ 4.8
SR**

**Rahmat Ilmi Haqqiqi
NRP 1112 100 057**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. rer.nat. Bagus Jaya Santosa, S.U**

**JURUSAN FISIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - SF 141501

**MOMENT TENSOR ANALYSIS AND FOCAL
MECHANISM MODELING OF SUMATERA
EARTHQUAKE IN ALL TO 2016 WITH MAGNITUDE
 ≥ 4.8 SR**

**Rahmat Ilmi Haqqiqi
NRP 1112 100 057**

**Advisors
Prof. Dr. rer.nat .Bagus Jaya Santosa, S.U**

**Department of Physics
Faculty of Mathematics and Science
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

**ANALISA MOMEN TENSOR DAN PEMODELAN
MEKANISME PUSAT GEMPA BUMI WILAYAH
SUMATERA SEPANJANG TAHUN 2016 DENGAN
MAGNITUDE ≥ 4.8 SR**

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan
Program S-1

Pada

Bidang Studi Fisika Bumi

Program Studi S-1 Departemen Fisika

Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Rahmat Ilmi Haqqiqi

NRP 1112 100 057

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. rer.nat. Bagus Jaya Santosa, S.U (.....)



ANALISA MOMEN TENSOR DAN PEMODELAN MEKANISME PUSAT GEMPA BUMI WILAYAH SUMATERA SEPANJANG TAHUN 2016 DENGAN MAGNITUDE ≥ 4.8 SR

Penulis : Rahmat Ilmi Haqqiqi
NRP : 1112 100 057
Jurusan : Fisika FMIPA ITS
Dosen Pembimbing : Prof.Dr.rer.nat. Bagus Jaya Santosa,S.U

Abstrak

Penelitian dengan fokus analisa momen tensor dan pola bidang patahan dapat dilakukan pada gempa bumi wilayah Sumatera pada tahun 2016 *magnitude* ≥ 4.8 SR dengan memanfaatkan program ISOLA-GUI. Prinsip program ini mengolah tiga komponen gelombang seismik yang terekam dalam seismogram. Data berupa gelombang diolah sesuai masing-masing *event* gempa yang terjadi dan digunakan perhitungan fungsi Green serta inversi. Pada tahap inversi digunakan 4 filter f_1, f_2, f_3, f_4 yang diisi sesuai *event*. *Plotting* untuk hasil dilakukan setelah tahap inversi dan didapatkan nilai *variance reduction* yang bernilai mendekati 1. Plot selanjutnya berupa nilai momen tensor beserta pola bidang patahan yang disimbolkan dengan *beachball*. Pengolahan tersebut dilakukan pada seluruh *event* gempa. Setelah perhitungan, pengolahan, dan interpretasi, maka nilai momen tensor yang didapatkan yaitu $M_{rr} = 3.444e^{15}$ hingga $8.403e^{18}$, $M_{tt} = 6.665e^{15}$ hingga $2.646e^{18}$, $M_{pp} = 1.801e^{15}$ hingga $0.836e^{18}$ serta nilai $M_{rt} = 2.687e^{15}$ hingga $1.133e^{18}$, $M_{rp} = 0.072e^{15}$ hingga $6.319e^{18}$, $M_{tp} = 1.679e^{15}$ hingga $2.091e^{18}$. Serta bentuk pola *focal mechanism* bidang sesar wilayah Sumatera terdiri atas *normal-slip* pada area *Active Subduction* dan *strike-slip* serta *oblique fault* pada area *Mentawai Fault*.

Kata kunci : ISOLA-GUI, Green function, inversion, beachball, normal-slip, strike-slip, oblique fault

**MOMENT TENSOR ANALYSIS AND FOCAL
MECHANISM MODELING OF SUMATERA
EARTHQUAKE IN ALL TO 2016
WITH MAGNITUDE ≥ 4.8 SR**

Name : Rahmat Ilmi Haqqiqi
NRP : 1112100057
Departement : Fisika FMIPA ITS
Supervisor : Prof.Dr.rer.nat. Bagus Jaya Santosa,S.U

Abstract

The research with focus of moment tensor analysis and fault mechanism pattern have been measured by ISOLA-GUI program to earthquake events at Sumatera all to 2016 with magnitude ≥ 4.8 SR. This program's principle is using three seismic component that recorded by seismogram. Data from seismogram as wavelength processed accordingly to each earthquake events and also processed using Green function with filter inversion. The filter inversion step used four filters such as f_1 , f_2 , f_3 , f_4 that will be filled accordingly to each events. Plot for the result is done after the inversion and variance reduction value that close to 1 will be obtained. The next plot is about moment tensor value and also the fault plane pattern that symbolized by beachball. This process was done for whole of the earthquake events. After the measurement, processing and interpretating steps, then the result of moment tensor value $M_{rr} = 3.444e^{15}$ to $8.403e^{18}$, $M_{tt} = 6.665e^{15}$ to $2.646e^{18}$, $M_{pp} = 1.801e^{15}$ to $0.836e^{18}$ also $M_{rt} = 2.687e^{15}$ to $1.133e^{18}$, $M_{rp} = 0.072e^{15}$ to $6.319e^{18}$, $M_{tp} = 1.679e^{15}$ to $2.091e^{18}$. As well as the fault pattern, the result is normal-slip pattern at active subduction area and strike-slip so oblique fault pattern located at Mentawai Fault area.

Keywords : Continuous Wavelet Transform, Poisson Kernel, Self-Potential,

“ halaman ini sengaja dikosongkan ”

KATA PENGANTAR

Puji syukur Penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir di jurusan Fisika FMIPA ITS dengan judul :

“ANALISA MOMEN TENSOR DAN PEMODELAN MEKANISME PUSAT GEMPA BUMI WILAYAH SUMATERA SEPANJANG TAHUN 2016 DENGAN MAGNITUDE ≥ 4.8 SR”

Penulis menyadari bahwa terselesainya penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr.rer.nat. Bagus Jaya Santosa, S.U sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir yang selalu memberi bimbingan, dukungan dan pengetahuan dengan telaten dalam penyelesaian Tugas Akhir.
2. Keluarga tersayang, Ummi Liliek Sumiati, Alm. Ayah Dadik Subagjo, Aik Lilik Mariati, Kakak pertama Siti Faricha Effino, Kakak kedua Siti Cahayani Melilanda. Beliau-beliau yang senantiasa memberikan dukungan moral maupun finansial, nasehat dan wejangan, serta doa yang terus menerus untuk penyelesaian Tugas Akhir.
3. Keluarga MESON 2012 yang turut memberikan dukungan setiap harinya dari pertama hingga akhir masa perkuliahan.
4. Sahabat terdekat, Fathul Alamsyah, Ratna Pambudi, Andika Krisna Sandy, Dimas Prakoso, Dian Sukma, dan Renata yang sangat memberi motivasi serta tak terlebih cobaan-cobaan dalam penyelesaian Tugas Akhir.
5. Wanita yang selalu memotivasi.
6. Rekan bimbingan kelompok satu topik dan beberapa rekan yang turut membantu teknis pengolahan data serta banyak memotivasi, antara lain Indira Khayam, Meliana Simarmata, Meindy Fortuna, Shona Arum Fajartika.

7. Laboratorium Geofisika FISIKA ITS yang telah memberikan tempat dan fasilitas untuk pengolahan data Laporan.
8. Seluruh rekan dan orang sekitar yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan laporan ini terdapat kesalahan. Sehingga penulis meminta kritik dan saran pembaca yang dapat membantu untuk menyempurnakan laporan ini. Akhir kata semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak. Aamiin Ya Rabbal Alamiin.

Surabaya, Juni 2017
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN MUKA	i
COVER	ii
HALAMAN PEGESAHAN.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan masalah	3
1.5 Manfaat penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Bumi dan Interiornya	5
2.2. Lempeng Tektonik	6
2.3. Gelombang Seismik	9
2.4. Mekanisme Pusat Gempa.....	11
2.5. Tegangan sebagai Tensor.....	14

BAB III METODOLOGI	19
3.1. <i>Collecting Data & Extracting Data</i>	19
3.1.1. <i>Input Data</i>	19
3.2. <i>Processing</i>	20
3.2.1. <i>Crustal Model</i>	20
3.2.2. <i>Event Info</i>	21
3.2.3. <i>Station Selection</i>	21
3.2.4. <i>Raw Data Preparation</i>	21
3.2.5. <i>Seismic Source Definition</i>	21
3.3. <i>Calculating</i>	22
3.3.1. <i>Green Function Computation</i>	22
3.3.2. <i>Inversion</i>	22
3.3.3. <i>Plot Result</i>	22
3.4. <i>Perhitungan Slip Sesar</i>	23
3.5. <i>Diagram Alir Penelitian</i>	23
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	25
4.1. <i>Hasil Nilai Momen Tensor dan Karakteristik Strike, Dip, Rake pada Gempa Region Sumatera</i>	25
4.2. <i>Kurva Korelasi antara Perhitungan dan Data Observasi</i> ...	27
4.3. <i>Pola Bidang Sesar Berdasarkan Gempa Bumi Sumatera</i> ..	29
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	37
5.1. <i>Kesimpulan</i>	37
5.2. <i>Saran</i>	37
DAFTAR PUSTAKA.....	39
LAMPIRAN	41
BIODATA PENULIS.....	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur dalam Bumi (Murty C. V. R, 2005).....	5
Gambar 2.2 Ilustrasi detail dari lapisan lithosphere dan asthenosphere. (Press, Siever, 1986).....	6
Gambar 2.3 Lempeng tektonik terbesar pada permukaan bumi. (Murty C.V.R, 2005).....	7
Gambar 2.4 Macam-macam interaksi bondari antar lempeng. (Murty, C.V.R, 2005).....	8
Gambar 2.5 Macam-macam patahan (<i>fault of slip</i>). (Murty C.V.R, 2005)	9
Gambar 2.6 Pergerakan dari gelombang badan dan permukaan. (Murty C.V.R, 2005).....	10
Gambar 2.7 Ilustrasi dari teori keelastikan lempeng. (Haluk, Sinan, 2014)	12
Gambar 2.8 Skema diagram dari mekanisme fokus gempa. (A) Pola beachball terhadap proyeksi bidang sesar dilihat dari samping. (B) Pola beachball dilihat dari atas. (USGS)	14
Gambar 2.9 Analisa bentuk gaya F pada permukaan bidang dan elemen permukaan dS dengan titik vektor normal n. (Seth Stein, 2002)	15
Gambar 2.10 Traksi vektor pada tiga komponen bidang x_1 , x_2 , x_3 sebuah objek tinjauan berbentuk kubus. (Seth Stein, 2002)	16
Gambar 2.11 Bentuk objek kubus dengan tinjauan komponen stress force yang positif. (Seth Stein, 2002)	17
Gambar 3.1 Peta wilayah Sumatera dengan event gempa bumi sepanjang tahun 2016 dengan magnitude ≥ 4.8 SR dan kedalaman 10-50km.....	20
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian.....	24
Gambar 4.1 Kurva korelasi data observed dan synthetic untuk event gempa pada tanggal 01-09-2016 dengan origin time 20:04:17.	28

Gambar 4.2 Beachball sebagai representasi pola bidang sesar untuk event gempa pada tanggal 01-09-2016 dengan origin time 20:04:17.	29
Gambar 4. 3 Pola bidang sesar pada wilayah Sumatera.	30
Gambar 4.4 Beachball sebagai representasi pola bidang sesar untuk event gempa pada tanggal 04-11-2016 dengan origin time 23:26:44.	31
Gambar 4.5 Fault Plane pada event gempa tanggal 04-11-2016 dengan origin time 23:26:44.	31
Gambar 4.6 Beachball sebagai representasi pola bidang sesar untuk event gempa pada tanggal 23-08-2016 dengan origin time 20:29:36.	32
Gambar 4.7 Beachball sebagai representasi pola bidang sesar untuk event gempa pada tanggal 12-09-2016 dengan origin time 15:10:13.	33
Gambar 4.8 Beachball sebagai representasi pola bidang sesar untuk event gempa pada tanggal 24-08-2016 dengan origin time 13:48:48.	33
Gambar 4.9 Korelasi pola bidang sesar antara hasil penelitian dengan referensi yang telah ada.	34

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Nilai Parameter dari Model Bumi Haslinger-Santosa.	21
Tabel 4.1 Nilai Rentan Momen Tensor pada Setiap <i>Event</i> Gempa	25
Tabel 4.2 Nilai Strike, Dip, Rake pada Setiap Bidang Patahan Masing-masing Event.	26

“ halaman ini sengaja dikosongkan ”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Kurva Korelasi Data Observasi (Seismogram) dan Perhitungan Fungsi Green	41
Lampiran 2. Kurva Korelasi Pola <i>Beachball</i> dan kedalaman.....	48
Lampiran 3. Nilai Momen Tensor dan Pola <i>Beachball</i>	55

“ halaman ini sengaja dikosongkan ”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara di Asia Tenggara yang mempunyai wilayah sangat luas. Indonesia tepat berada di perbatasan dua samudera, yaitu samudera Pasifik dan Hindia. Tidak hanya itu, Indonesia juga berada pada perbatasan benua Asia dan Australia. Berdasarkan letak secara geografis tersebut, Indonesia tepat berada pada lempeng Pasifik, Indo-Australia dan Eurasia. Lempeng-lempeng tersebut sangat aktif pergerakannya, bergerak secara perlahan dengan kemungkinan saling menjauhi satu sama lain ataupun saling bertabrakan. Efek yang ditimbulkan dari aktivitas lempeng tersebut salah satunya membentuk struktur wilayah Indonesia, seperti gunung, palung, bukit, dataran tinggi dan dataran rendah.

Kondisi wilayah Indonesia yang merupakan kepulauan sangat rawan mengalami berbagai dampak negatif dari pergerakan lempeng-lempeng. Selain itu, letak Indonesia dalam lingkupan *Ring of Fire* sangat berpengaruh dalam tingkat kebencanaan. Akibatnya banyak sekali *event* gempa bumi bahkan tsunami yang terjadi. Gempa bumi yang terjadi meliputi gempa tektonik maupun vulkanik. Gempa tektonik terjadi dari adanya aktivitas blok lempeng, sedangkan gempa vulkanik terjadi akibat banyaknya aktivitas gunung api pada wilayah Indonesia. Wilayah Sumatera salah satu daerah dengan tingkat aktifitas seismik yang besar, webdc mencatat terdapat 29 *event* gempa bumi pada awal hingga akhir tahun 2016. Hal itu dikarenakan Sumatera mempunyai sifat geologi yang rumit, terletak tepat di perbatasan lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia. Gempa bumi yang terjadi mempunyai *magnitude* 4.8 SR bahkan lebih. Gempa bumi tersebut dicatat dengan stasiun *geophone* yang tersebar pada wilayah Sumatera sebanyak 52 stasiun.

Aktifitas gempa bumi tektonik merupakan sebuah anomali alam yang tidak dapat diidentifikasi secara preventif kapan terjadinya, karena sifatnya yang sangat tiba-tiba. Selain itu, gempa

bumi tektonik bersifat destruktif karena aktivitas gelombang sekunder pada lempeng yang mengalami patahan, gesekan dan tabrakan. Sehingga perlu dilakukan kajian dan tindakan mitigasi bencana untuk memangkas kerugian, bahkan menghindari dampak dari gempa bumi tersebut. Hal itu dikarenakan wilayah Sumatera yang terdiri atas *Mentawai Fault*, *Active Subduction Area* dan juga *Sumatera Fault*. Kajian berupa identifikasi secara mendetail dari gempa bumi antara lain analisa momen tensor gempa dan bentuk pola bidang patahan setiap wilayah. Analisa tersebut dapat digunakan untuk mempelajari karakteristik dari struktur bumi yang tepat. Berdasarkan hal tersebut, tugas akhir ini dilakukan untuk menganalisa momen tensor gempa bumi dan pola bidang patahan wilayah Sumatera dengan menggunakan program ISOLA-GUI. Prinsip dasar dari program ISOLA-GUI yaitu mengidentifikasi momen tensor dengan memanfaatkan bentuk gelombang seismik regional tiga komponen yang terekam oleh stasiun-stasiun geofisika dan memodelkan pola bidang patahan menggunakan perhitungan fungsi Green dan *inversion filtering*.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan gambaran umum di atas, didapatkan rumusan masalah dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa nilai momen tensor gempa bumi tektonik pada wilayah Sumatera memanfaatkan program ISOLA-GUI?
2. Bagaimana bentuk pola bidang patahan pada wilayah Sumatera dengan indikasi gempa bumi tektonik memanfaatkan program ISOLA-GUI?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini dengan mengacu pada masalah yang diberikan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan nilai momen tensor gempa bumi tektonik pada wilayah Sumatera dengan program ISOLA-GUI.
2. Menentukan bentuk pola bidang patahan pada wilayah Sumatera dengan indikasi gempa bumi tektonik memanfaatkan program ISOLA-GUI.

1.4 Batasan masalah

Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini antara lain *event* gempa yang diidentifikasi adalah gempa bumi wilayah Sumatera sepanjang tahun 2016 dan program yang digunakan adalah ISOLA-GUI.

1.5 Manfaat penelitian

Penelitian yang dilakukan diharapkan dapat menjadi pengetahuan mengenai momen tensor serta *focal mechanism* gempa bumi dan pola bidang patahan di berbagai wilayah.

1.6 Sistematika Penulisan

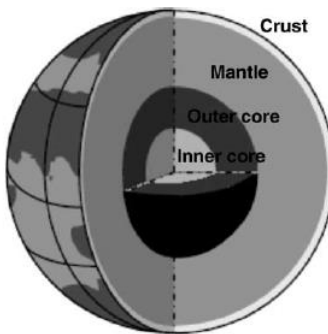
Pada penulisan Tugas Akhir ini terdiri dari abstrak yang menggambarkan tentang gambaran umum dari penelitian ini. Bab I yang berisikan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan. Bab II berisikan tentang tinjauan pustaka yang berkaitan dengan dasar teori sebagai acuan dari penelitian. Bab III berisikan tentang metodologi. Bab IV berisikan tentang hasil penelitian dan pembahasannya. Dan Bab V berisikan tentang kesimpulan dan saran.

“ halaman ini sengaja dikosongkan ”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Bumi dan Interiornya

Berdasarkan formasi dari bumi, banyak sekali jumlah panas yang dihasilkan karena adanya peleburan massa partikel dalam bumi. Ketika jumlah panas itu berkurang, hal itu menunjukkan bahwa letak massa berada mendekati permukaan bumi. Sebaliknya, jumlah panas yang berlebih menunjukkan letak massa berada mendekati inti bumi. Investigasi geologi dengan data seismic mengemukakan bahwa bumi mempunyai beberapa *layer* inti sebagai berikut :

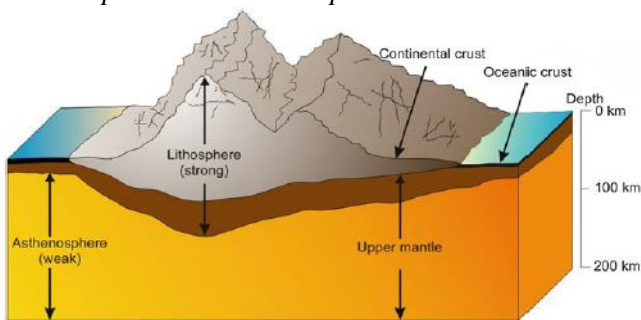


Gambar 2.1. Struktur dalam Bumi (Murty C. V. R, 2005)

Lapisan bumi dari luar ke dalam terdapat kerak bumi, mantel bumi, kemudian inti luar dan inti dalam. Lapisan kerak bumi mempunyai ketebalan sekitar 11 km hingga 40 km. Perbatasan antara kerak dan mantel bumi terdapat diskontinuitas yang disebut Diskontinuitas Mohorovicic. Kerak bumi pada struktur dataran rendah seperti lautan mempunyai ketebalan yang relatif kecil yaitu 5-15 km. Sedangkan kerak yang terdapat pada dataran tinggi seperti gunung dan bukit memiliki ketebalan yang lebih tebal. Lapisan kerak bagian atas disebut dengan *lithosphere* dan bagian

bawah dinamakan *asthenosphere*. Bagian ini mengandung banyak batuan dan berkarakter plastik. Lapisan *lithosphere* tidak bergerak secara individu, namun secara berkelompok. Lapisan ini bergerak dengan gabungan dari banyak lempeng yang besarnya bervariasi. Pergerakan lapisan dipengaruhi oleh perbedaan nilai *magnitude* dan arahnya. Perbedaan gerak dari setiap lempeng tersebut yang mendasari adanya teori tektonik. Lapisan lebih dalam dari lapisan mantel adalah inti pusat bumi. Pada lapisan inti pusat bumi hanya terdapat pergerakan gelombang seismik Primer, sedangkan untuk gelombang seismik Primer dan Sekunder terdapat pada lapisan mantel bumi. Inti pusat bumi yang paling dalam (*inner core*) sangat padat dan mengandung banyak sekali logam seperti nikel dan besi. (Datta T.K, 2010)

Struktur inti dari bumi merupakan parameter penting untuk dipahami dalam kajian aktivitas seismik. Struktur yang menyusun lapisan-lapisan dalam bumi dari permukaan yaitu kerak bumi, lebih dalam adalah mantel bumi. Kemudian paling dalam adalah inti bumi yang terdiri dari inti luar dan inti dalam. Berikut merupakan gambaran *lithosphere* dan *asthenosphere* :

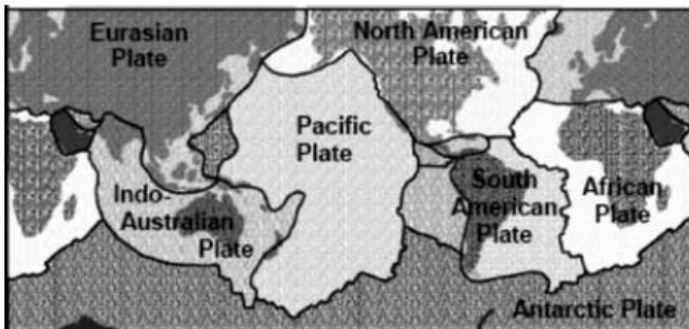


Gambar 2.2 Ilustrasi detail dari lapisan lithosphere dan asthenosphere. (Press, Siever, 1986)

2.2. Lempeng Tektonik

Konsep dasar dari lempeng tektonik didapatkan berdasarkan pergeseran benua. Adanya struktur lautan, wilayah kepulauan, bentuk patahan dan daerah orogenik mendukung teori pergeseran

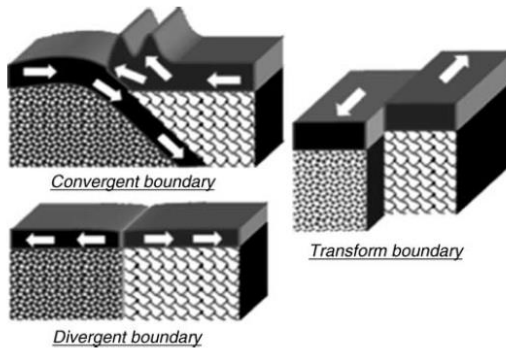
benua. Lempeng benua bergeser akibat aliran panas dari lapisan mantel yang bergerak menuju permukaan bumi. Pergerakan lempeng benua juga didasarkan pada pola sirkulasi mantel bumi. Ada banyak sekali lempeng tektonik yang terdapat pada dunia. Tujuh lempeng tektonik terbesar antara lain Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Pasifik, Lempeng Amerika Utara, Lempeng Amerika Selatan, Lempeng Afrika, dan Lempeng Antartika. (Datta T.K, 2010)



Gambar 2.3 Lempeng tektonik terbesar pada permukaan bumi. (Murty C.V.R, 2005)

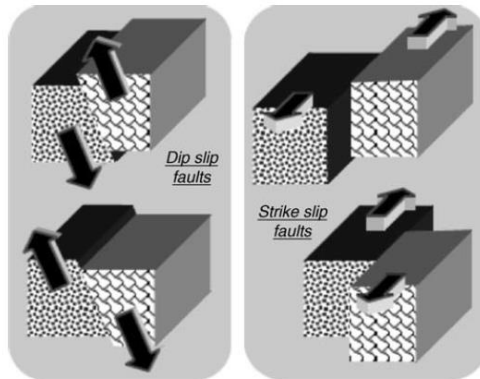
Secara fungsi waktu, pergerakan lempeng benua dimulai semenjak beberapa juta tahun lalu. Faktanya, 225 juta tahun yang lalu hanya terdapat satu benua yang sangat besar dinamakan Pangaea. Daratan Pangaea terbelah menjadi dua daratan benua pada 25 juta tahun selanjutnya yaitu benua Laurasia dan Gondwanaland. Selanjutnya 135 juta tahun silam, daratan Laurasia terpecah belah menjadi Amerika Utara dan Eurasia. Serta daratan Gondwanaland terbelah menjadi daratan India, Amerika Selatan, Afrika, Antartika dan Australia. Daratan-daratan tersebut bergeser secara sistematis dan terbentuk daratan seperti sekarang. (Haluk, Sinan, 2014)

Lempeng-lempeng tektonik bergerak dengan arah dan kecepatan yang berbeda. Lempeng tersebut berinteraksi satu sama lainnya dan membentuk beberapa pola. Pada umumnya, terdapat tiga macam interaksi yang terjadi. Interaksi tersebut antara lain pola konvergen, divergen, dan bondari.



Gambar 2.4 Macam-macam interaksi bondari antar lempeng. (Murty, C.V.R, 2005)

Pola patahan pada bondari antar lempeng yang mengakibatkan adanya gempa bumi tektonik. Patahan seringkali juga disebabkan karena gempa bumi, namun hanya sedikit terjadi. Pada pola yang terbentuk didapatkan dua macam perbedaan slip antara lain *dipslip* dan *strikeslip*. *Dipslip* terbentuk dengan arah vertikal, sedangkan slip lainnya yaitu *strikeslip* mempunyai arah horisontal. Patahan yang terbentuk akibat *dipslip* terjadi ketika *upper rock bed* bergerak ke atas maupun ke bawah. Untuk patahan yang terbentuk akibat *strikeslip* terjadi ketika lapisan lateral bagian samping (kiri maupun kanan) patahan bergeser dengan arah yang berbeda satu sama lainnya. (Datta T.K, 2010)

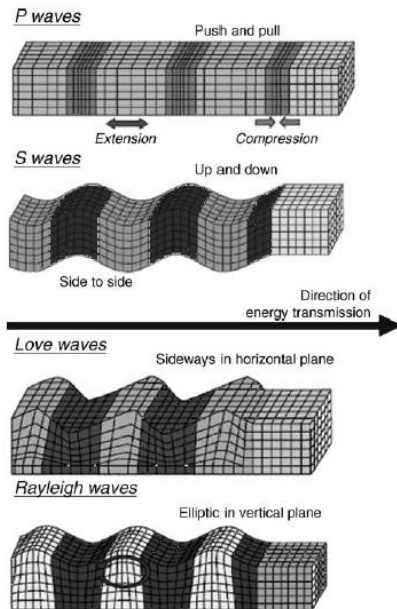


Gambar 2.5 Macam-macam patahan (*fault of slip*). (Murty C.V.R, 2005)

2.3. Gelombang Seismik

Energi regangan yang besar ditimbulkan selama getaran pada permukaan bumi karena adanya propagasi gelombang dengan berbagai arah jalarnya. Gelombang elastik ataupun yang dikenal dengan gelombang seismik meneruskan energi yang ditimbulkan dari satu titik pusat menuju permukaan bumi melalui berbagai lapisan. Peristiwa berikut yang menyebabkan adanya kerusakan pada bagian atas permukaan bumi. Di dalam bumi, gelombang elastik ini menjalar melalui berbagai media dan membentuk gelombang badan. Pada permukaan bumi, gelombang tersebut menjalar sebagai gelombang permukaan. Jalaran gelombang tersebut menyebabkan refleksi dan refraksi. Peristiwa refleksi dan refraksi dari gelombang berada dekat dengan permukaan dan di dalam setiap lapisan bumi. Gelombang badan mempunyai dua macam gelombang, antara lain gelombang P (Primer) dan gelombang S (Sekunder). Gelombang P berupa gelombang longitudinal di mana arah gerak partikel sejajar dengan arah jalar gelombangnya. Gelombang S berupa gelombang transversal dengan arah gerak partikel tegak lurus arah jalar gelombangnya.

Gelombang permukaan menjalar pada permukaan bumi. Gelombang tersebut yang diidentifikasi dalam gempa bumi



Gambar 2.6 Pergerakan dari gelombang badan dan permukaan. (Murty C.V.R, 2005)

dangkal. Gelombang jalaran tersebut diklasifikasikan sebagai gelombang Love dan Rayleigh. Partikel pada gelombang Love bergerak pada bidang horisontal. Kecepatan dari gelombang dipengaruhi adanya panjang gelombang, ketebalan pada setiap lapisan dan karakteristik keelastikan dua medium yang berhimpit. Gelombang Love menjalar lebih cepat daripada gelombang Rayleigh dan gelombang Love tiba pada permukaan lebih cepat. Selanjutnya gelombang Rayleigh, partikel selalu bergerak pada bidang vertikal dan membentuk pola elips. Propagasi gelombang P dan gelombang S dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut:

$$V_p = \left[\frac{E}{\rho} \frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} \right]^{1/2} \quad 2.1$$

$$V_s = \left(\frac{G}{\rho}\right)^{1/2} \left[\frac{E}{2(1+\nu)}\right]^{1/2} \quad 2.2$$

pada perumusan di atas, E adalah modulus Young, G adalah modulus Geser, ρ densitas massa dan ν adalah Poisson ratio dari massa tanah. Nilai Poisson ratio lebih kecil dari setengah dan gelombang P tiba lebih dahulu dari gelombang S. Pada permukaan bumi, nilai kecepatan $V_p = 5-7 \text{ km s}^{-1}$ dan $V_s = 3-4 \text{ km s}^{-1}$. Interval waktu tiba di antara gelombang P dan gelombang S pada stasiun dinamakan sebagai durasi getaran primer. Waktu tempuh tersebut dituliskan sebagai berikut :

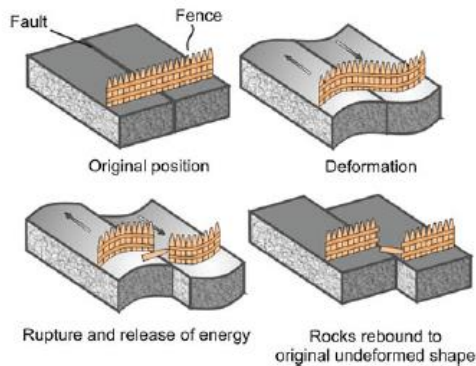
$$Tp = \left[\frac{1}{V_s} - \frac{1}{V_p}\right] \quad 2.3$$

Δ merupakan selisih jarak dari stasiun dengan titik pusat gempa. Selama gelombang transversal menjalar, partikel bergerak dengan media jalaran yang dibatasi bidang. Jalaran gelombang tersebut disebut dengan gelombang transversal yang terpolarisasi. Gelombang terpolarisasi ini berada dalam bidang horisontal dan vertikal. Berdasarkan hal tersebut, gelombang dibagi menjadi gelombang SV (Vertikal) dan SH (Horisontal). (Datta T.K, 2010)

2.4. Mekanisme Pusat Gempa

Fenomena dinamika struktur inti bumi dan pergeseran lempeng telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Efek hasil aktivitas pergeseran lempeng tersebut mengakibatkan setidaknya gempa bumi pada area lempeng tektonik utama. Peneliti geologi Reid (1911) mengemukakan mekanisme gempa berdasarkan teori keelastikan sejak terjadinya peristiwa Gempa Bumi San Fransisco (1906). Teori keelastikan tersebut telah digunakan sebelum adanya teori tektonik lempeng dan teori tersebut yang menjelaskan adanya hubungan proses gempa bumi dengan patahan secara geologi. Patahan sebagai sumber utama getaran bumi yang dahsyat dideskripsikan pertama kali melalui teori keelastikan tersebut.

Orientasi slip dan patahan dalam proses gempa bumi dapat diidentifikasi dengan sistem mekanisme yang disebut *focal mechanism* atau mekanisme pusat gempa. Mekanisme tersebut dianalisa dengan pengukuran komputer untuk menentukan arah gerak *waveform* yang tepat pada setiap stasiun. Mekanisme fokus dihitung dari turunan pola gerakan pertama jalaran *waveform* sebagai model bentuk gelombang. Perbedaan pola gerakan pertama tersebut disebabkan posisi masing-masing stasiun terhadap pusat gempa.



Gambar 2.7 Ilustrasi dari teori keelastikan lempeng. (Haluk, Sinan, 2014)

Mekanisme fokus gempa tersebut dihubungkan dengan karakteristik pola *shear faults* yang ada pada lempeng pusat gempa tersebut. *Shear faults* atau sesar merupakan retakan yang terjadi ketika fenomena gempa bumi terjadi dan ketika sedang atau setelah *displacement* terjadi. Banyak model sesar dengan karakteristik pergerakannya, sesar mendatar (*strike slip fault*) dan sesar tidak mendatar (*dip slip*). Sesar mendatar merupakan sesar dengan arah gerak blok sesar yang horizontal. Berikut adalah dua macam sesar mendatar:

1. *Right Lateral* adalah sesar yang bergerak mendatar searah jarum jam.

2. *Left Lateral* adalah sesar dengan arah gerak mendatar berlawanan arah jarum jam.

Sesar tidak mendatar merupakan sesar dengan arah gerak blok secara vertikal atau miring. Macam-macam jenis sesar tersebut adalah:

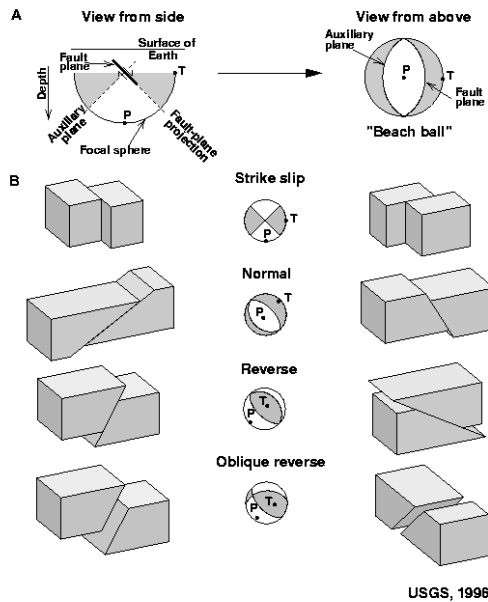
1. *Normal Fault* atau sesar turun adalah sesar dengan bidang kemiringan yang besar. Posisi *hanging wall* relatif turun terhadap *foot wall*.
2. *Reverse Fault* atau sesar naik adalah sesar dengan posisi *hanging wall* yang relatif naik terhadap *foot wall*.
3. *Oblique Fault* adalah sesar yang mempunyai gerak secara diagonal karena gabungan dari sesar horisontal dan vertikal.

Macam-macam sesar yang ada didapatkan dengan analisa karakteristik dari parameter sesar. Parameter sesar tersebut antara lain:

1. *Dip* (δ)
Dip merupakan parameter sesar berupa sudut kemiringan *fault*. Sudut yang diukur permukaan bumi normal dengan bidang sesarnya. *Dip* mempunyai karakteristik sudut dari 0° hingga 90° .
2. *Strike* (ϕ)
Strike merupakan parameter sesar dengan sudut orientasi *fault*. *Strike* diukur sudutnya searah jarum jam dari Utara. *Strike* memiliki sudut dari 0° hingga 360° .
3. *Slip*
Arah gerakan *fault* diidentifikasi dengan parameter *Slip*. *Slip* mempunyai dua karakteristik yang dapat memberi informasi jauh batuan yang bergerak dan arah gerak batuan tersebut.

Pada analisa mekanisme tersebut, karakteristik gempa juga digambarkan dalam bentuk *beachball symbol*. Symbol *beachball* merupakan sebuah proyeksi atau gambaran dari bidang horisontal pada lingkup area yang mengelilingi fokus gempa.

Schematic diagram of a focal mechanism



Gambar 2.8 Skema diagram dari mekanisme fokus gempa. (A) Pola beachball terhadap proyeksi bidang sesar dilihat dari samping. (B) Pola beachball dilihat dari atas. (USGS)

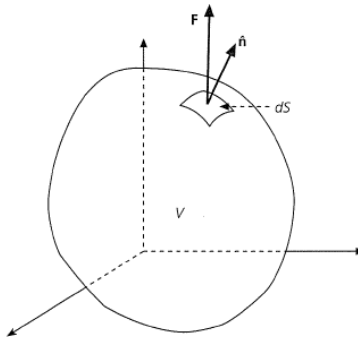
2.5. Tegangan sebagai Tensor

Pada Hukum Newton kedua dituliskan $F = ma$, ilustrasi tali yang digetarkan akan membentuk propagasi gelombang. Hal ini dapat dihubungkan dengan bab sebelumnya yang membahas interior bumi terdapat aktivitas seismik. Aktivitas gelombang seismik tersebut dianalisa menggunakan konsep kontinuitas deformasi materi dalam bumi dengan mengacu pada sifat karakteristik material tersebut. Densitas, gaya, dan *displacement* dianalisa secara kontinyu dengan fungsi yang berbeda-beda. Hukum Newton kedua dituliskan kembali dalam bentuk gaya per unit volum, densitas, dan massa per unit volum. Ketika densitas

konstan tidak berubah dalam fungsi waktu, maka persamaan Hukum Newton kedua menjadi:

$$f(x, t) = \rho \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} \quad 2.4$$

ρ merupakan densitas, $f(x, t)$ adalah gaya per unit volum, kemudian $u(x, t)$ sebagai derivatif kedua dari vektor *displacement* terhadap waktu. Selanjutnya persamaan gaya dengan vektor tersebut dianalisa dalam beberapa kondisi. Pada propagasi gelombang seismik, persamaan tersebut dapat divariasikan terhadap fungsi jarak dan waktu. (Seth Stein, 2002).

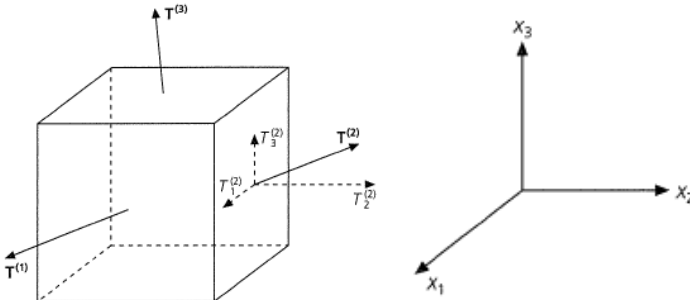


Gambar 2.9 Analisa bentuk gaya F pada permukaan bidang dan elemen permukaan dS dengan titik vektor normal n . (Seth Stein, 2002)

Terdapat dua gaya yang menyebabkan adanya tegangan, yaitu gaya dalam bidang dan gaya permukaan. Gaya dalam bidang (*body force*) merupakan gaya yang bergerak pada keseluruhan bidang. Hal ini menghasilkan gaya yang proporsional dalam volum sebuah material. Gaya permukaan (*surface force*) bertindak hanya pada permukaan bidang. Ketika pada *body force*, densitas dan volum objek menjadi acuan untuk mengukurnya. Namun pada *surface force* hanya ada bidang permukaan dan elemen permukaan yang dapat dianalisa. Berdasarkan hal tersebut, traksi vektor dapat dihitung sebagai limit pada *surface force* per unit area:

$$T(n) = \lim_{dS \rightarrow 0} \frac{F}{dS} \quad 2.5$$

Traksi vektor tersebut dapat digunakan pada tiga bidang permukaan terhadap elemen volum yang tegak lurus dengan posisi koordinat. Komponen dari tiga traksi vektor direpresentasikan dengan $T_i^{(j)}$, j merupakan indikator permukaan dan i adalah indeks indikator komponen.



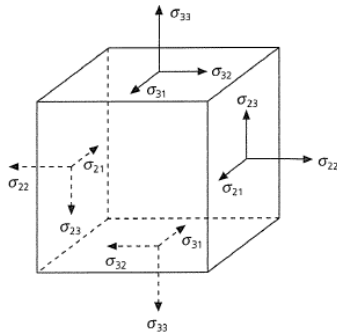
Gambar 2.10 Traksi vektor pada tiga komponen bidang x_1, x_2, x_3 sebuah objek tinjauan berbentuk kubus. (Seth Stein, 2002)

Lebih lanjut, digambarkan terdapat beberapa traksi vektor pada *surface force*. Traksi tersebut digabungkan dalam sebuah tensor tegangan atau *stress tensor* (σ_{ji}). *Stress tensor* dianalisa dengan matriks sebagai berikut:

$$\sigma_{ji} = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T^{(1)} \\ T^{(2)} \\ T^{(3)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_1^{(1)} & T_2^{(1)} & T_3^{(1)} \\ T_1^{(2)} & T_2^{(2)} & T_3^{(2)} \\ T_1^{(3)} & T_2^{(3)} & T_3^{(3)} \end{pmatrix} \quad 2.6$$

dalam matriks tersebut dijelaskan bentuk *stress tensor* yang ditinjau dalam *surface force* sebuah bidang. Pada tiga komponen diagonal dari *stress tensor*, σ_{11} , σ_{22} , σ_{33} disebut sebagai *normal stresses* dan pada diagonal lainnya disebut dengan *shear stresses*.

Gambar 2.9 dipaparkan kembali sebagai bentuk *stress tensor* dalam tegangan positif untuk mengekspansi volum sebuah objek.



Gambar 2.11 Bentuk objek kubus dengan tinjauan komponen stress force yang positif. (Seth Stein, 2002)

“ halaman ini sengaja dikosongkan ”

BAB III METODOLOGI

3.1. Collecting Data & Extracting Data

Data yang akan diolah terlebih dahulu diunduh pada sumber *webdc.eu*. Data berupa *event* gempa bumi dan stasiun *geophone* yang banyak tersebar di berbagai wilayah. Data yang diunduh difokuskan pada wilayah Sumatera, Indonesia dengan jangkauan awal hingga akhir tahun 2016. Gempa bumi berkisar pada *magnitude* lebih dari 4.8SR. Setelah memilih area yang akan diunduh, data yang muncul terdapat 29 *event* gempa bumi dan 52 stasiun *geophone*. Masing-masing data mempunyai keterangan detail antara lain tanggal & waktu terjadinya gempa (*origin time*), letak koordinat (*latitude & longitude*), besar *magnitude*, dan kedalaman (*depth*). Selain data gempa, stasiun *geophone* yang merekam kejadian juga diunduh pada setiap *event* gempa.

Setelah proses pengunduhan data selesai, dilanjutkan *extracting data* supaya dapat diolah dalam program berikutnya. Tahap berikut dilakukan dengan bantuan *software* JrdSeed. Satu-persatu data *event* gempa dilakukan pengekstrakan. Tahap *extracting* mengubah data dalam bentuk SEED menjadi SAC. Data berupa SAC inilah yang akan diolah dalam program *interface* utama ISOLA-GUI.

3.1.1. Input Data

Data yang telah diunduh dan diekstrak berupa SAC kemudian diimport dalam halaman SAC Import. Di dalam halaman berikut, data berupa gelombang seismik akan dibaca dalam ISOLA-GUI. Gelombang yang dibaca dipilih menjadi tiga bagian, *North-South* (N), *East-West* (E), dan *Vertical* (Z). Setelah data terbaca, disimpan dalam bentuk *ascii file*.



Gambar 3.1 Peta wilayah Sumatra dengan event gempa bumi sepanjang tahun 2016 dengan magnitude ≥ 4.8 SR dan kedalaman 10-50km.

3.2. *Processing*

Tahap selanjutnya setelah data telah terkumpul adalah *processing*. Tahap berikut dilakukan tetap dengan menggunakan software ISOLA-GUI. Pada program ini, data hasil input diolah dengan memasukkan data gempa (SAC) yang berupa gelombang seismik. Setelah itu dilakukan perhitungan *Green's Function* dan inversi. Kemudian didapatkan nilai momen tensor dan didapatkan *plot result* dari pengolahan data.

3.2.1. *Crustal Model*

Krustal model untuk wilayah yang diteliti juga harus dimasukkan dalam ISOLA-GUI. Pada halaman *Define Crustal Model*, diisi nilai beberapa parameter seperti V_p , V_s , kedalaman, dan sebagainya untuk model tomografi. Krustal model atau model bumi yang digunakan ialah model bumi Haslinger-Santosa.

Tabel 3.1 Nilai Parameter dari Model Bumi Haslinger-Santosa.

N	Vp	Depth	Vs	Dens	Qp	Qs
o	(km/s)	(km)	(km/s)	(g/cm3)		
1	2.31	0.0	1.300	2.500	300	150
2	4.27	1.0	2.400	2.900	300	150
3	5.52	2.0	3.100	3.000	300	150
4	6.23	5.0	3.500	3.300	300	150
5	6.41	16.0	3.600	3.400	300	150
6	6.70	33.0	4.700	3.400	300	150
7	8.00	40.0	4.760	3.500	1000	500

3.2.2. *Event Info*

Tahap selanjutnya dipilih halaman *event info* yang berisi keterangan setiap *event* gempa (*latitude, longitude, magnitude, depth, origin time, dan start time*). Keterangan diisi sesuai masing-masing *event* gempa yang diunduh, setelah itu *update* data untuk acuan pengolahan.

3.2.3. *Station Selection*

Pemilihan stasiun perekam gempa yang berada terdekat pada setiap *event* gempa. Stasiun yang dipilih terdiri dari dua hingga lima stasiun pada masing-masing *event* gempa. Tahap berikut dibantu dengan subfolder *m_map* untuk menampilkan skema stasiun beserta *event* gempanya.

3.2.4. *Raw Data Preparation*

Data *ascii* yang tersimpan pada tahapan input dibuka kembali pada halaman ini. Data berupa gelombang seismik dikoreksi, dihapus beberapa *noise* untuk memperhalus frekuensi dan mendapatkan *start time* secara otomatis. Data inilah yang menjadi data utama pada proses perhitungan dan inversi.

3.2.5. *Seismic Source Definition*

Halaman ini berisi data kedalaman *event* gempa yang ditinjau. Pada kolom *Starting Depth* dan *No Of Source* diisi kedalaman yang mencakup nilai kedalaman episenter. Sebagai contoh pada *event*

pertama mempunyai kedalaman 10km, maka nilai kolom tersebut diisi cakupan 5 hingga 15km. Kolom *Depth Step* merupakan spasi tinjauan dari range dasar kedalaman hingga permukaan.

3.3. Calculating

Setelah dilakukan penentuan *event*, pemilihan stasiun, dan berbagai persiapan data, selanjutnya dikerjakan tahap perhitungan dan inversi, serta *plotting* hasil pengolahan data.

3.3.1. Green Function Computation

Pada halaman berikut, dilakukan perhitungan data menggunakan fungsi Green. Perhitungan dimulai dengan tombol *Run*, hingga hasil perhitungan fungsi Green didapatkan. Selanjutnya dilakukan tahap inversi untuk mendapatkan model dari data yang diolah.

3.3.2. Inversion

Tahap inversi berisi banyak parameter untuk mengubah data kuantitatif yang ada menjadi model yang dapat dibaca dalam bentuk data kualitatif (kurva). Pada kolom filter, nilai filter f_1 , f_2 , f_3 , f_4 diisi mengacu pada *event* gempa yang ditinjau. Nilai filter inversi berupa frekuensi yang dikorelasikan dengan *magnitude*. Setelah mengisi kolom filter, *run* program dan didapatkan hasil inversi.

3.3.3. Plot Result

Hasil dari tahapan inversi berupa plot yang menunjukkan nilai korelasi hasil perhitungan fungsi Green dengan hasil seismogram, mekanisme fokus gempa, dan beberapa plot lainnya. Untuk mendapatkan plot momen tensor, dilakukan terlebih dahulu plot data sintetik dan real. Plot tersebut merupakan korelasi antara kurva perhitungan fungsi Green dengan kurva observasi seismogram (*real data*). Dalam plot ini digunakan acuan *variance reduction* sebagai harga keakuratan hasil perhitungan dengan *real data*. Ketika nilainya mendekati 1, hal itu menunjukkan korelasi keduanya sangat presisi. Saat nilai menunjukkan nilai minus dan

<0.5 , maka kembali lagi pada tahap inversi untuk mengganti nilai filter. Hasil dari plot inilah yang akan diinterpretasikan menjadi nilai momen tensor dan pola bidang sesar.

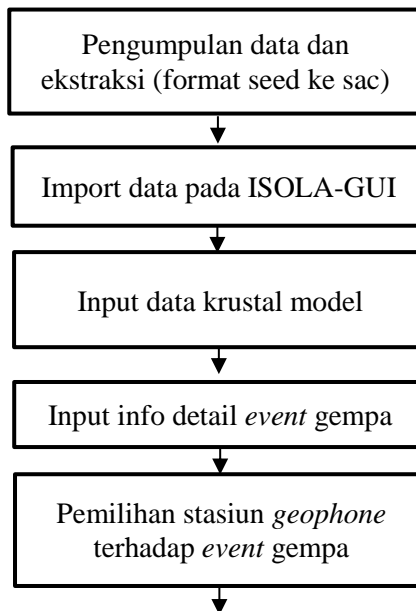
3.4. Perhitungan *Slip* Sesar

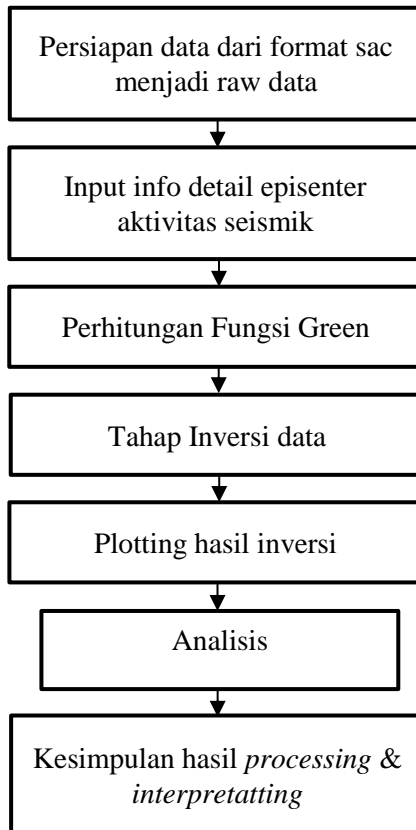
Setelah nilai momen tensor dan sifat sesar didapatkan, maka dapat ditentukan harga panjang, lebar dan besar *slip*. Besar *slip* diukur dengan persamaan momen seismik (M_0) sebagai berikut,

$$M_0 = \mu DLW \quad 3.1$$

konstanta μ merupakan koefisien rigiditas batuan, D adalah nilai slip rata-rata sesar, L sebagai panjang sesar dan W sebagai lebar sesar. (Leonard 2010).

3.5. Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini mendeskripsikan tentang analisis dan pembahasan hasil penelitian.

4.1. Hasil Nilai Momen Tensor dan Karakteristik *Strike*, *Dip*, *Rake* pada Gempa Region Sumatera

Setelah dilakukan pengolahan data gelombang seismik tiga komponen pada ISOLA-GUI, didapatkan hasil nilai momen tensor untuk gempa Sumatera sebagai berikut,

Tabel 4.1 Nilai Rentan Momen Tensor pada Setiap *Event* Gempa

Event	M_{rr}	M_{tt}	M_{pp}	M_{rt}	M_{rp}	M_{tp}	e
20161211	-0.843	-0.462	1.079	3.287	0.439	-0.821	16
20161209	-3.444	-6.665	-1.801	2.687	-0.072	-1.679	15
20161206	8.403	-4.003	0.836	0.436	6.319	-6.486	18
20161104	-2.256	-0.076	0.468	1.133	0.800	0.437	18
20160912	-3.514	0.225	3.941	-3.992	-2.925	5.015	16
20160911	-0.474	-4.315	-1.878	0.951	0.030	2.404	16
20160901	-1.090	3.630	5.510	1.140	0.103	5.563	17
20160824	-1.328	2.646	-4.974	-1.338	0.219	2.091	18
20160823	-1.328	2.646	-4.974	-1.338	0.219	2.091	18
20160710	-9.530	-3.070	-3.608	-0.283	-7.005	1.624	16
20160621	0.610	-0.328	-0.056	1.153	-1.366	0.369	17
20160416	0.507	-7.116	-0.307	0.135	-0.582	2.463	16
20160415	0.985	3.472	-0.311	0.428	0.071	-1.496	17
20160119	4.216	-6.776	8.851	-2.523	1.642	0.505	17

Nilai momen tensor (M) tersebut mempunyai satuan Nm. Pada setiap event gempa yang terjadi, tercatat momen tensor bernilai berbeda-beda namun tidak sangat kontras. Besar nilai momen seismik tersebut merupakan hasil aktivitas dari area patahan atau pertengahan antara dua lempeng yang mengalami slip. Hal ini menunjukkan adanya gaya yang dibutuhkan untuk meneruskan gelombang seismik setelah terjadi gempa. Secara tidak langsung, nilai tersebut berhubungan dengan besar total energi seismik yang disebabkan patahan.

Data yang didapatkan setelah nilai momen tensor adalah besar dari karakteristik bidang sesar. Karakteristik bidang sesar terdiri atas dua bidang lempeng yaitu bidang patahan atau sesar dan bidang *auxiliary*. Pada kedua bidang tersebut terdapat nilai *strike*, *dip* dan *rake*. Dalam tabel berikut disajikan besar dari ketiga karakteristik kedua bidang,

Tabel 4.2 Nilai Strike, Dip, Rake pada Setiap Bidang Patahan Masing-masing Event.

Event	Bidang 1			Bidang 2		
	Strike	Dip	Rake	Strike	Dip	Rake
20161211	271	88	-105	172	15	-9
20161209	204	49	0	113	90	139
20161206	26	66	55	266	42	142
20161104	22	25	-112	225	67	-80
20160912	58	70	-63	181	33	-142
20160911	88	66	42	339	52	150
20160901	4	56	-146	254	63	-39
20160824	210	71	175	301	85	16
20160823	210	74	175	301	85	16
20160710	237	18	-45	10	77	-103
20160621	139	81	96	286	11	57
20160416	142	61	143	252	58	35
20160415	64	90	170	154	80	0
20160119	305	86	158	47	68	4

Nilai pada kolom *strike* menunjukkan nilai sudut yang dibentuk oleh bidang patahan dengan permukaan horisontal. *Strike* dapat membuat sudut dari 0° hingga 360°. Selanjutnya adalah *dip* atau sudut yang dibentuk antara patahan dengan bidang horisontal. Kemudian terdapat kolom *rake* yang menunjukkan nilai sudut pergerakan bidang terhadap kondisi *strike*. *Strike*, *dip* dan *rake* merupakan representasi dari arah pergerakan slip. Berdasarkan tabel 4.2, *event* gempa pertama yaitu yang terjadi pada tanggal 11-12-2016 dengan *origin time* 2:50:34 dapat diketahui nilai *strike* 271°. Dari posisi bidang *hanging wall* yang sejajar permukaan horisontal, kemudian bergerak menuju sudut 271°. *Dip* yang bernilai 88° berarti *hanging wall* bergerak menuju garis miring sebesar 88°. Nilai *rake* sebesar -105° yang menunjukkan arah dari

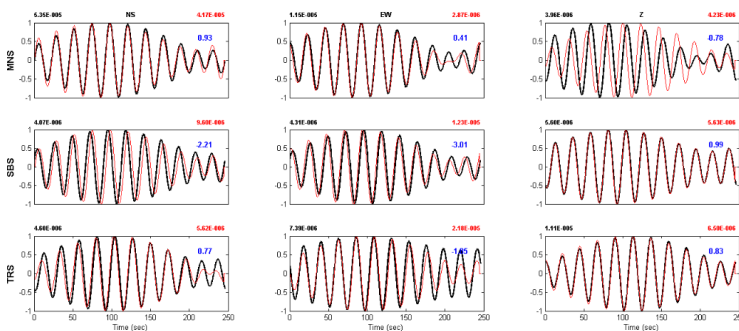
dinding atas yang bergerak ke bawah dan mengindikasikan terjadi gerakan normal pada patahan. Pada setiap fenomena patahan, seolah-olah akan terdapat dinding atas dan dinding bawah. *Rake* inilah yang berperan untuk menunjukkan arah gerak dinding bagian atas akan bergerak naik atau turun secara diagonal. Ketika nilai *rake* 0° , ini berarti *hanging wall* atau sisi kanan dari patahan yang terlihat secara vertikal, seakan-akan menjauh dari ujung atas 0° dan dapat dikatakan *left lateral motion*. Dan saat nilai *rake* $\pm 180^\circ$, hal ini dapat diartikan dinding atas seolah-olah mendekati ujung 0° atau disebut *right lateral motion* (OpenSHA).

Diambil *event* gempa pada tanggal 09-12-2016 dengan *origin time* 09:49:02 nilai dari *rake* adalah 0° . Nilai tersebut menunjukkan ketika terjadi patahan, hanya mengakibatkan *hanging wall* beraktivitas pada *strike* dan *dip* saja. Namun pada posisi *footwall* terdapat pergerakan sudut dari *rake* sebesar 139° .

4.2. Kurva Korelasi antara Perhitungan dan Data Observasi

Hasil pengolahan data perhitungan Fungsi Green dan dilanjutkan inversi menghasilkan kurva korelasi dari perhitungan tersebut dengan data yang terekam pada saat observasi seismogram. Nilai antara garis kurva perhitungan dan observasi yang mendekati kesejajaran sangat diinginkan karena hal itu menunjukkan kepresisian saat dilakukan pengolahan data. Hasil kurva tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.1. Setelah dilakukan perhitungan Fungsi Green, kemudian dilanjutkan menuju tahap inversi. Pada tahap ini digunakan filter f1, f2, f3, f4 untuk mendapatkan hasil kurva perhitungan yang mendekati hasil observasi seismogram (*real data*). Filter inversi berupa nilai frekuensi yang dikorelasikan pada magnituda *event* gempa. Pada kurva di atas merupakan hasil korelasi *event* gempa yang terjadi pada tanggal 01-09-2016 dengan *origin time* 20:04:17 dan *magnitude* sebesar 5.3SR. Filter pada inversi digunakan nilai f1 sebesar 0.04, f2 sebesar 0.046, f3 sebesar 0.048 dan f4 sebesar 0.05. Hasil dari tahap inversi pada data tersebut didapatkan nilai reduksi varian (*variance reduction*) dengan angka yang berwarna biru.

Pada stasiun MNS didapatkan nilai *variance reduction* pada komponen N sebesar 0.93, komponen E sebesar 0.41 dan komponen Z sebesar -0.78. Pada stasiun SBS nilai *variance reduction* komponen N sebesar -2.21, komponen E sebesar -3.01 dan komponen Z sebesar 0.99. Terakhir stasiun TRS nilai pada komponen N sebesar 0.77, komponen E sebesar -1.05 dan komponen Z sebesar 0.83. Hasil nilai *variance reduction* yang berbeda-beda tersebut bergantung pada saat tahap *filtering* dan juga pada tahap Fungsi Green. *Variance reduction* ini mengakibatkan presisi tidaknya (kecocokan) korelasi antara garis kurva hitam (kurva *real data*) dan garis kurva merah (kurva perhitungan) (Sokos 2008). Pada kurva ini, nilai *variance reduction* yang mendekati 1 menunjukkan bahwa *fitting* yang dilakukan mendekati presisi, dan ketika hasilnya mendekati 0 maka ketidak-presisiannya juga besar.



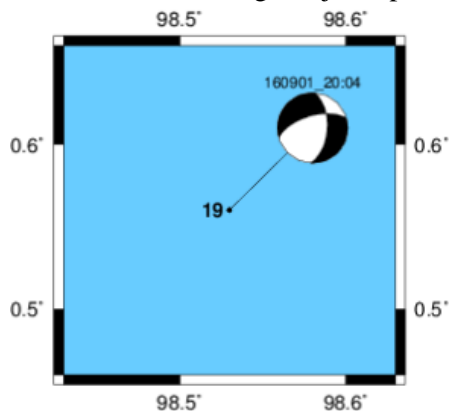
Gambar 4.1 Kurva korelasi data observed dan synthetic untuk event gempa pada tanggal 01-09-2016 dengan origin time 20:04:17.

Pada setiap *event* gempa Sumatera yang diolah, tidak semua stasiun pada tiap komponennya mempunyai nilai *variance reduction* yang mendekati 1, beberapa stasiun tercatat mempunyai nilai *variance reduction* yang minus. Menurut Stein & Wyssession 2003 peristiwa seperti ini dapat terjadi karena adanya sifat keelastikan dari medium lapisan yang dilalui oleh gelombang seismik. Ketika dalam *real data* nilai gelombang seismik yang

menjalar dapat secara langsung direkam oleh seismogram. Namun pada tahap pengolahan, hal itu bergantung pada peran Fungsi Green. Fungsi Green mengeluarkan bentuk sinyal baru dari data input yang dianggap seolah-olah sinyal tersebut adalah sinyal gelombang seismik yang sama dengan *real data*. Berdasarkan perhitungan Fungsi Green inilah, nilai gelombang seismik tersebut dibandingkan dengan gelombang yang terekam pada seismogram. Sehingga hal itu menyebabkan beberapa nilai *variance reduction* berbeda-beda secara signifikan salah satunya terdapat nilai minus.

4.3. Pola Bidang Sesar Berdasarkan Gempa Bumi Sumatera

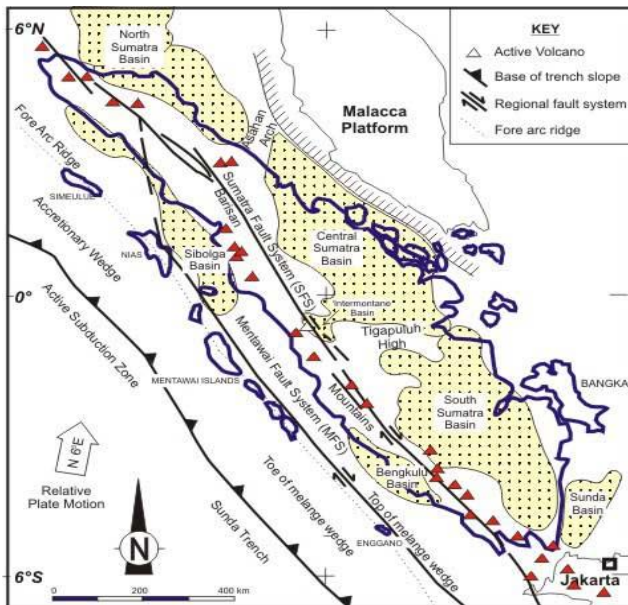
Berdasarkan data-data hasil pengolahan dengan representasi berupa kurva korelasi dan nilai besarnya momen tensor tiap *event* gempa, maka dapat diketahui bentuk pola bidang sesar yang terjadi pada wilayah Sumatera. Pola bidang disajikan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Beachball sebagai representasi pola bidang sesar untuk event gempa pada tanggal 01-09-2016 dengan origin time 20:04:17.

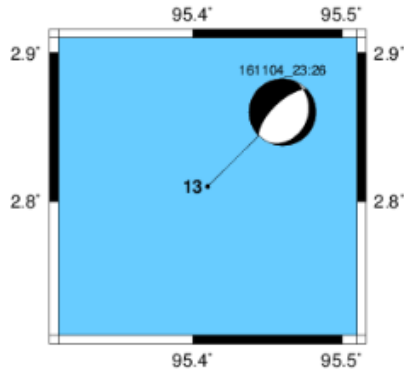
pola bidang sesar pada gambar 4.2 merupakan hasil pengolahan dari *event* gempa yang terjadi pada tanggal 01-09-2016 dengan *origin time* 20:04:17. Hiposenter dari gempa mempunyai atribut *latitude* 0.56, *longitude* 98.53 dan kedalaman 38m. Episenter gempa yang tercatat beratribut kedalaman 51m dan *latitude*

longitude sama dengan hiposenter. Pola sesar yang terlihat direpresentasikan dengan bentuk *beachball*. Pola *beachball* menunjukkan bahwa patahan yang terjadi adalah *oblique fault*. Patahan tersebut ditandai dengan adanya $\frac{3}{4}$ bidang putih pada muka *beachball* dan pada tinjauan lempeng terdapat pergerakan bidang *hanging wall* dan *footwall* yang saling menjauhi secara horisontal maupun secara vertikal (Jordan & Cornell 2003 OpenSHA).

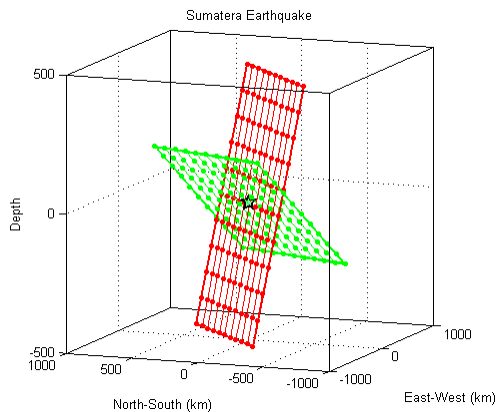


Gambar 4. 3 Pola bidang sesar pada wilayah Sumatera.

Pada wilayah Sumatera terdapat area bidang patahan antara lain *Sumatera Fault*, *Mentawai Fault* dan *Active Subduction Sunda Trench*. Pada setiap area tersebut didapatkan pola sesar dari indikasi beberapa *event* gempa yang telah dilakukan penelitian. Pada area subduksi aktif didapatkan pola bidang sesar *normal-slip*. Berikut disajikan *event* yang terdapat pada area subduksi aktif,



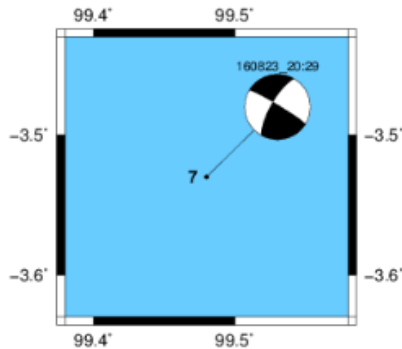
Gambar 4.4 Beachball sebagai representasi pola bidang sesar untuk event gempa pada tanggal 04-11-2016 dengan origin time 23:26:44.



Gambar 4.5 Fault Plane pada event gempa tanggal 04-11-2016 dengan origin time 23:26:44.

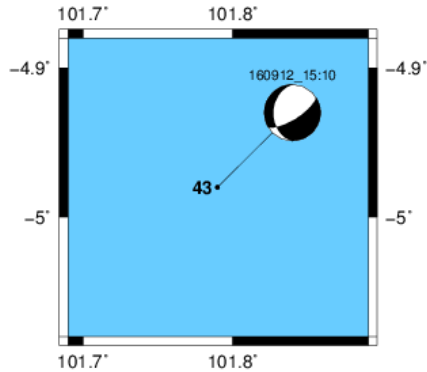
pada pola tersebut, dapat diamati bahwa *beachball* menunjukkan pola *dip-slip normal fault* dengan adanya pola putih penuh sebagian pada muka *beachball*. Hal ini terjadi karena lempeng yang berada pada area subduksi sangat aktif pergerakannya yaitu lempeng Indo-Australia dan Eurasia. Aktivitas lempeng tersebut yang mengakibatkan banyak sekali gempa dengan kedalaman yang

besar dan *magnitude* tinggi. Bidang hijau merupakan orientasi bidang patahan sumber gempa yang direpresentasikan dengan simbol bintang tepat berada pada bidang hijau.

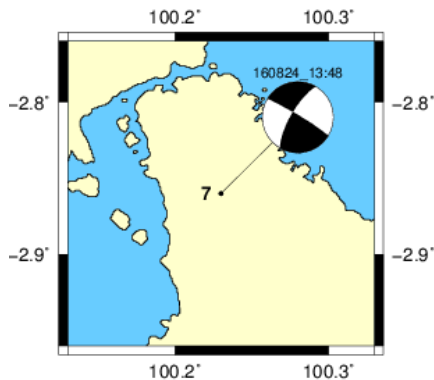


Gambar 4.6 Beachball sebagai representasi pola bidang sesar untuk event gempa pada tanggal 23-08-2016 dengan origin time 20:29:36.

Akan tetapi, pada hasil pengolahan lain, terdapat indikasi adanya pola *strike-slip* pada area subduksi aktif seperti pada gambar 4.5. *Strike-slip* ditunjukkan dengan pola putih dan hitam yang bersilang pada muka *beachball*. Peristiwa ini dapat terjadi karena pada *event* gempa ini masih berada dalam cakupan area *Mentawai Fault*. Variasi pola yang demikian terjadi pada setiap penelitian seperti halnya Sieh & Natawijaya (2000) yang mengatakan bahwa pola sesar pada area *Mentawai* mempunyai pola bidang sesar antara lain *dip-slip normal fault*, *strike slip* dan *reverse fault*. Fenomena seperti ini sangat dapat terjadi karena adanya perbedaan pemilihan nilai filter pada proses perhitungan fungsi Green dan *inversion filtering*. Sehingga gelombang yang dianalisa pada proses tersebut tidak sesuai dengan *real data* dan mengakibatkan interpretasi yang bervariasi. Dalam penelitian ini pola bidang sesar yang didapatkan pada area *Mentawai Fault* antara lain pola *strike-slip* dan *oblique fault*. Pada gambar berikut disajikan *event* gempa yang mengindikasikan pola *strike-slip*.



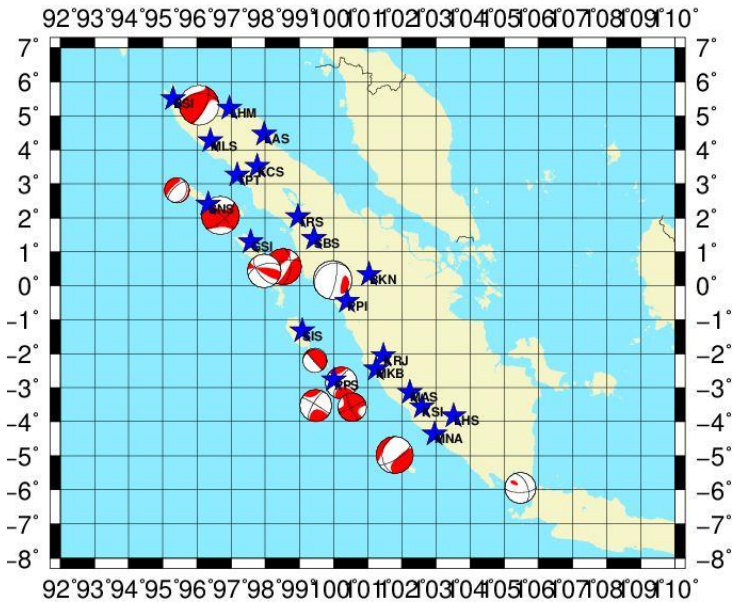
Gambar 4.7 Beachball sebagai representasi pola bidang sesar untuk event gempa pada tanggal 12-09-2016 dengan origin time 15:10:13.



Gambar 4.8 Beachball sebagai representasi pola bidang sesar untuk event gempa pada tanggal 24-08-2016 dengan origin time 13:48:48.

Hasil perhitungan *slip* dengan persamaan (3.1) besar *slip* rata-rata pada daerah subduksi menunjukkan nilai sebesar 0.277867 m, besar panjang *slip* bernilai 17.37800829 m dan lebar dari *slip* adalah 10.86426 m. Pada daerah *Mentawai Fault* didapatkan nilai *slip* rata-rata sebesar 0.22225 m, panjang *slip* sebesar 29.92264637 m dan lebar *slip* adalah 9.594006 m.

Korelasi antara hasil penelitian berikut dengan referensi pola bidang sesar yang telah ada, dapat ditinjau pada peta wilayah Sumatera berikut,



Gambar 4.9 Korelasi pola bidang sesar antara hasil penelitian dengan referensi yang telah ada.

Hasil pola bidang patahan yang direpresentasikan dengan *beachball* merah-putih dan pola bidang patahan yang telah diidentifikasi pada referensi didapatkan beberapa pola yang berbeda. Pada wilayah *Mentawai Fault*, pola bidang sesar yang terbentuk meliputi pola *strike-slip* dan *oblique fault*. Namun sesuai dengan referensi yang telah ada, pola bidang sesar pada wilayah tersebut adalah *strike-slip*. Pola *oblique fault* yang didapatkan secara perhitungan, disebabkan karena wilayah pada Barat Daya Sumatera merupakan alur *trench* perbatasan lempeng Indo-Australia dengan lempeng Eurasia. *Trench* tersebut mengindikasikan adanya pola diagonal akibat tumbukan kedua

lempeng secara konvergen. Selanjutnya, wilayah *Subduction Active Area* didapatkan pola bidang sesar *dip-slip* dan *strike-slip*. Akan tetapi, sesuai referensi yang telah ada sebelumnya terdapat pola bidang sesar *dip-slip*. Hal itu seiring dengan teori pada area subduksi aktif yang menunjukkan interaksi kedua lempeng berupa *dip-slip*. Ditemukan pola *strike-slip* pada penelitian ini, karena *event* gempa yang diidentifikasi masih tercakup pada area patahan Mentawai. Sehingga masih didapatkan kemungkinan untuk mempunyai pola *strike-slip*.

“ halaman ini sengaja dikosongkan ”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil data dan *processing* terhadap penelitian yang berjudul “Analisa Momen Tensor dan Pemodelan Mekanisme Pusat Gempa Bumi Wilayah Sumatera Sepanjang Tahun 2016 dengan Magnitude ≥ 4.8 SR” dapat dilakukan interpretasi dan ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai momen tensor yang didapatkan yaitu

Mrr	Mtt	Mpp	Mrt	Mrp	Mtp
3.444e ¹⁵	6.665e ¹⁵	1.801e ¹⁵	2.687e ¹⁵	0.072e ¹⁵	1.679e ¹⁵
8.403e ¹⁸	2.646e ¹⁸	0.836e ¹⁸	1.133e ¹⁸	6.319e ¹⁸	2.091e ¹⁸

2. Pola *focal mechanism* bidang sesar wilayah Sumatera terdiri atas *normal-slip* (*dip-slip* & *strike-slip*) pada area *Active Subduction*, dan *strike-slip* serta *oblique fault* pada area *Mentawai Fault*.

5.2. Saran

Hasil yang optimal sangat diharapkan dalam proses penelitian ini. Kefektifan dan efisiensi dalam penelitian perlu dilakukan dengan fokus pada tahap inversi hingga *plotting*. Hal ini dikarenakan banyak perbedaan filter yang digunakan dalam berbagai penelitian terhadap suatu *event* gempa. Sehingga interpretasi pada hasil pola akhir tidak dapat presisi. Maka dari itu, dibutuhkan penelitian yang lebih baik dan akurat pada waktu yang akan datang.

“ halaman ini sengaja dikosongkan ”

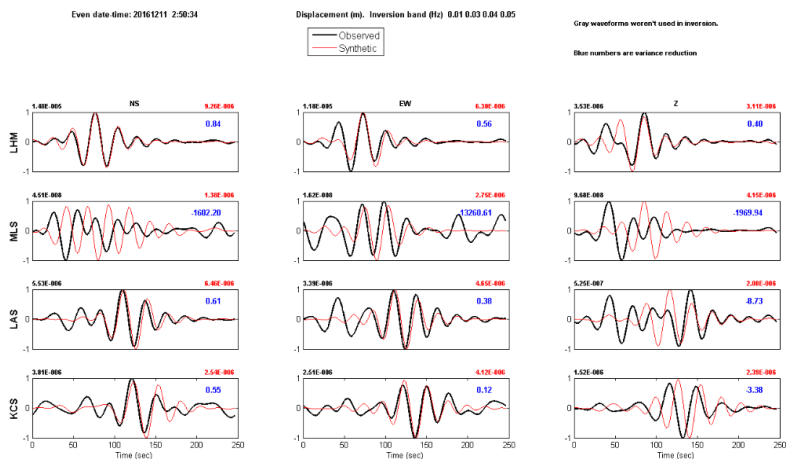
DAFTAR PUSTAKA

- C.V.R Murty. 2005. IITK-BMPTC Earthquake Tips. National Information Centre of Earthquake Engineering.
- Datta, T.K. 2010. Seismic Analysis of Structures. Indian Institute of Technology Delhi : India.
- Madlazim. 2011. Estimasi CMT, Bidang Sesar dan Durasi Rupture Gempa Bumi Di Sumatera Serta Kemungkinan Peringatan Dini Tsunami.
- Mardrinovella, I., Widiyantoro dan Irwan. 2011. *Relokasi Hiposenter Gempa Padang 30 September 2009 Menggunakan Metode Double Difference*. JTM Vol.XVIII No. 1.
- McGuire, RK. 2004. Seismic Hazard and Risk Analysis. Earthquake Engineering Research Institute Monograph : Oakland.
- Press F, Siever R. 1986. EARTH, 4th Edition. Freeman : New York.
- Saltzman, Barry. 1999. Advanced in Geophysics vol. 39 edited by Renata Dmowska. Academic Press : California, USA.
- Shearer, PM. 1999. Introduction to Seismology. Cambridge University Press : New York.
- Sieh, K. dan Natawidjaja, D. 2000. Neotectonics of the Sumatran Fault, Indonesia. Journal of Geophysical Research, vol. 105, No. B12, pages 28, 295-28,326.
- Sokos, E. N. dan Zahrandik. 2009. A Matlab GUI for use with ISOLA Fortran codes. User Guide.
- Stein, Seth and Wysession, M. 2003. An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structures. Blackwell Publishing Ltd : USA.
- Sucuoglu, Haluk and Akkar, Sinan. 2014. Basic Earthquake Engineering (From Seismology to Analysis and Design). Springer : New York.
- Wu, F. T. and Kanamori, H. 1973. Source mechanism of February 4, 1965 Rat Island-earthquake. J. *Geophys. Res.* 78,6082-6092.

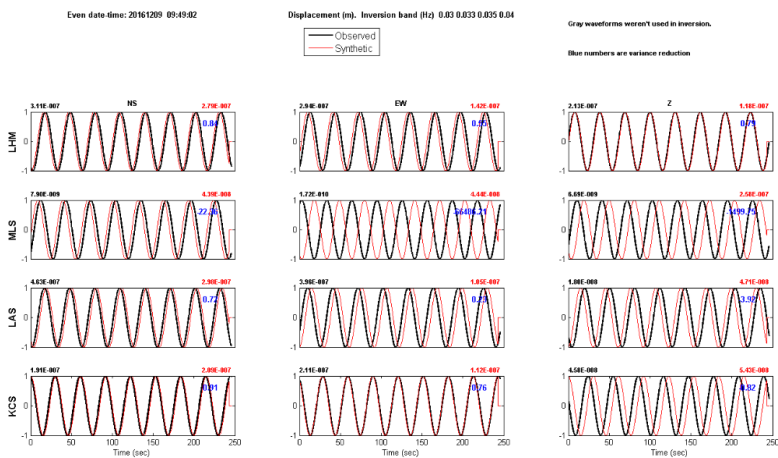
“ halaman ini sengaja dikosongkan ”

LAMPIRAN

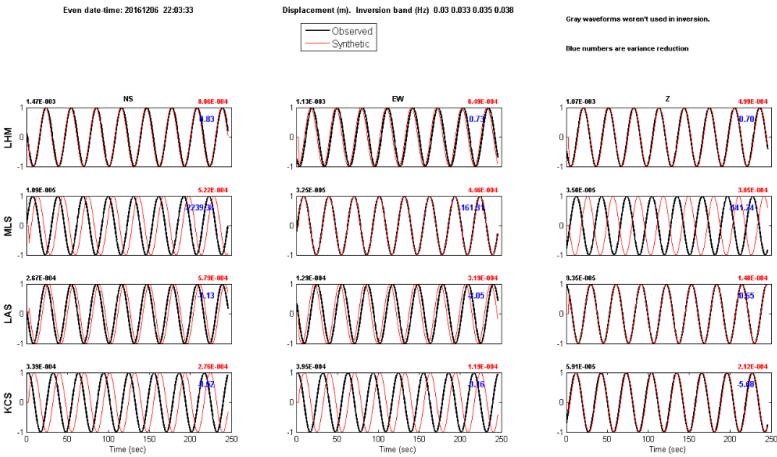
Lampiran 1. Kurva Korelasi Data Observasi (Seismogram) dan Perhitungan Fungsi Green



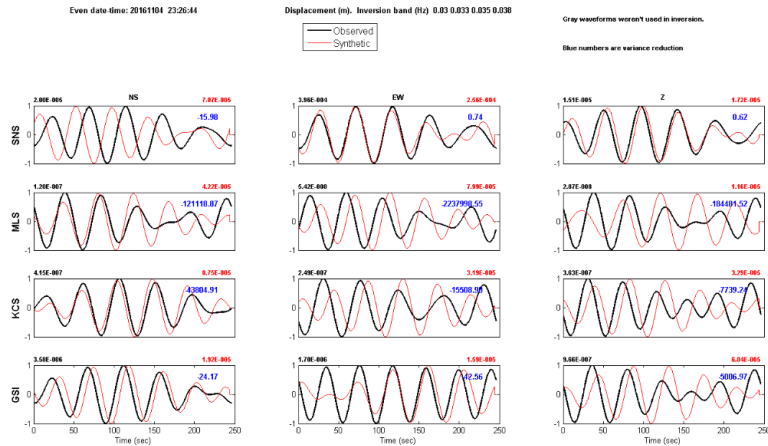
Gambar 1 Kurva event 11-12-2016 origin time 02:50:34



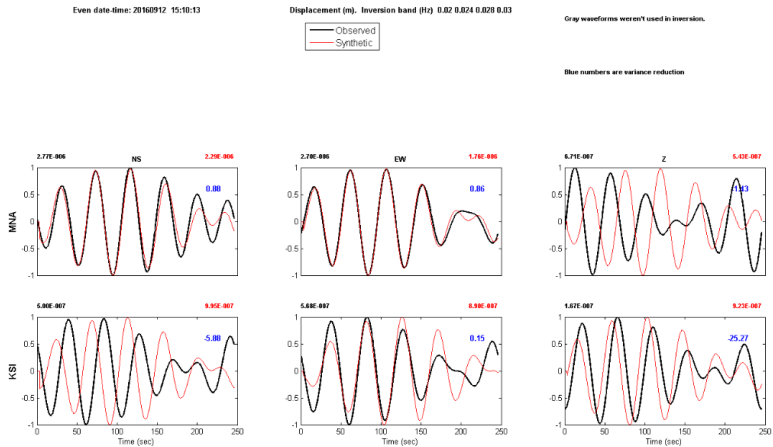
Gambar 2 Kurva event 09-12-2016 origin time 09:49:02.



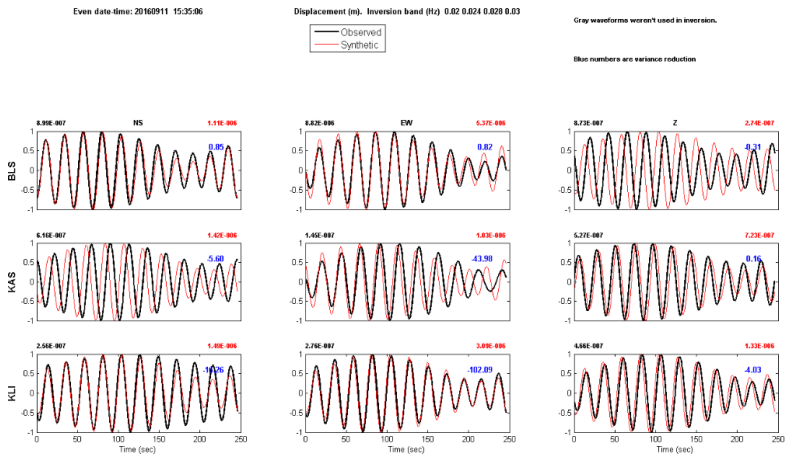
Gambar 3 Kurva event 06-12-2016 origin time 22:03:33.



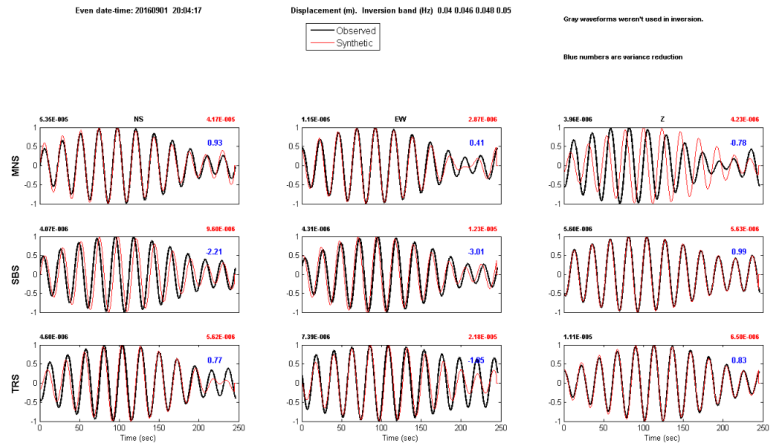
Gambar 4 Kurva event 04-11-2016 origin time 23:26:44



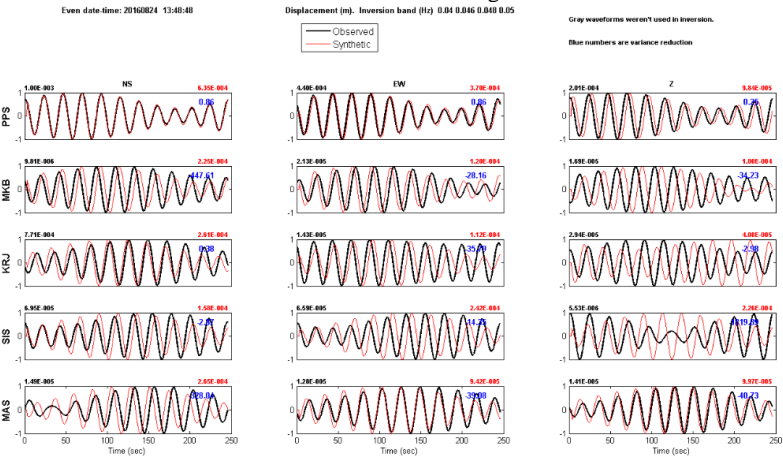
Gambar 5 Kurva event 09-12-2016 origin time 15:13:00.



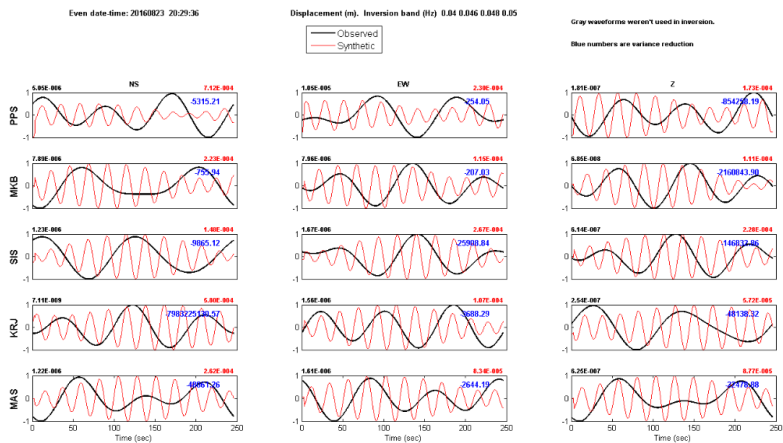
Gambar 6 Kurva event 11-09-2016 origin time 15:35:06.



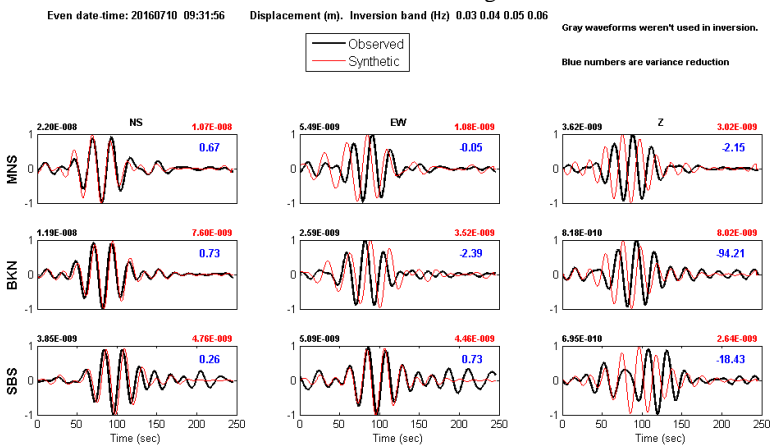
Gambar 7 Kurva event 01-09-2016 origin time 20:04:17.



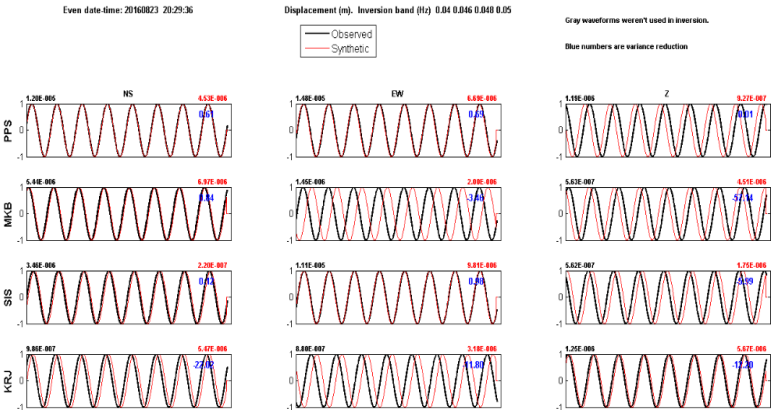
Gambar 8 Kurva event 24-08-2016 origin time 13:48:48.



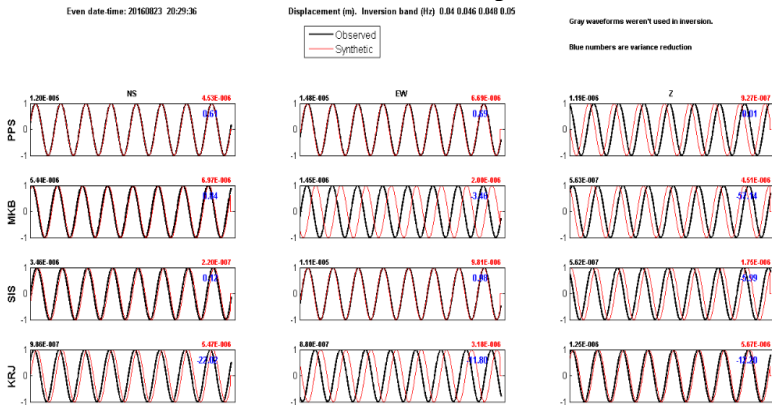
Gambar 9 Kurva event 23-08-2016 origin time 20:29:36.



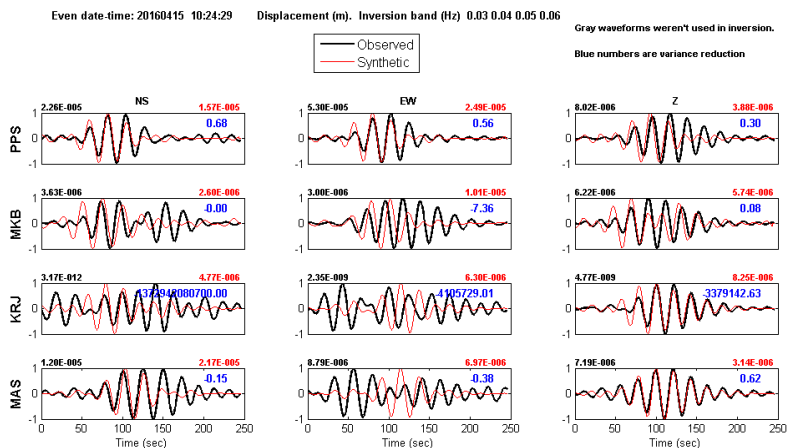
Gambar 10 Kurva event 20-07-2016 origin time 09:31:56.



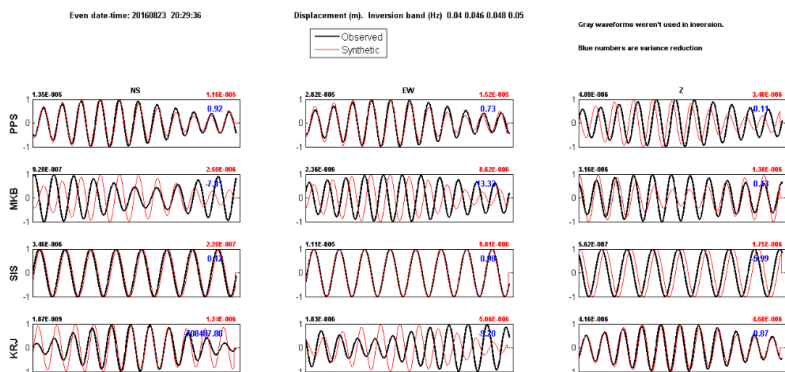
Gambar 11 Kurva event 21-06-2016 origin time 14:10:24.



Gambar 12 Kurva event 16-04-2016 origin time 21:09:13.

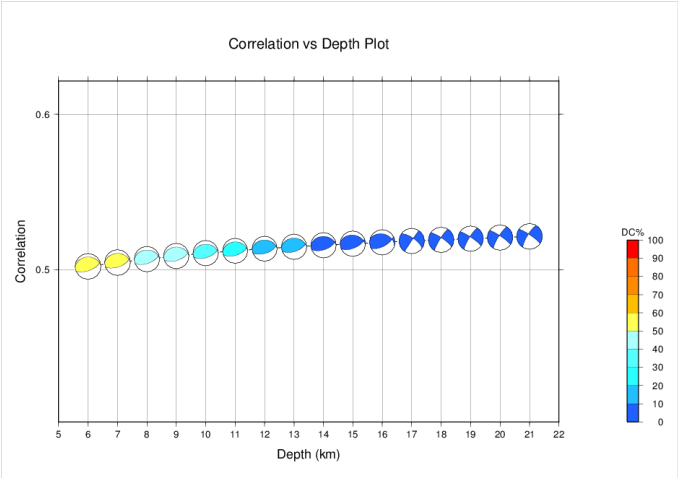


Gambar 13 Kurva event 15-04-2016 origin time 10:24:29.

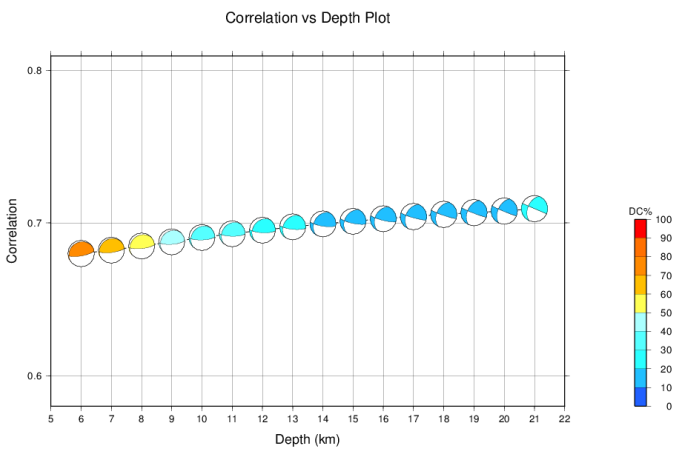


Gambar 14 Kurva event 19-01-2016 origin time 02:02:07.

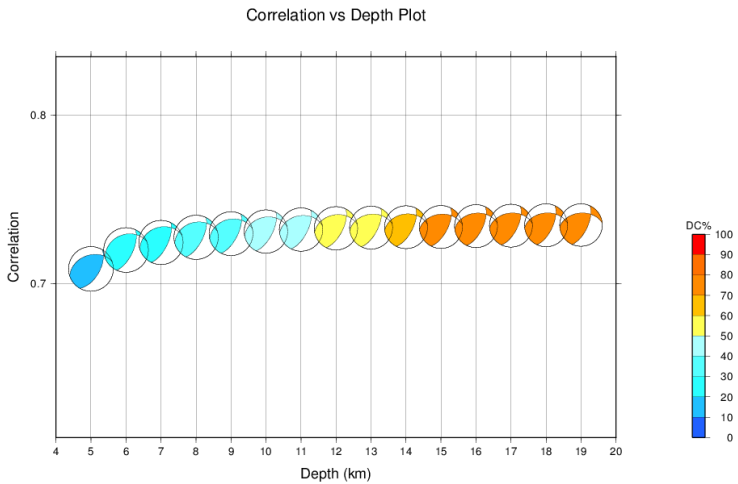
Lampiran 2. Kurva Korelasi Pola *Beachball* dan kedalaman



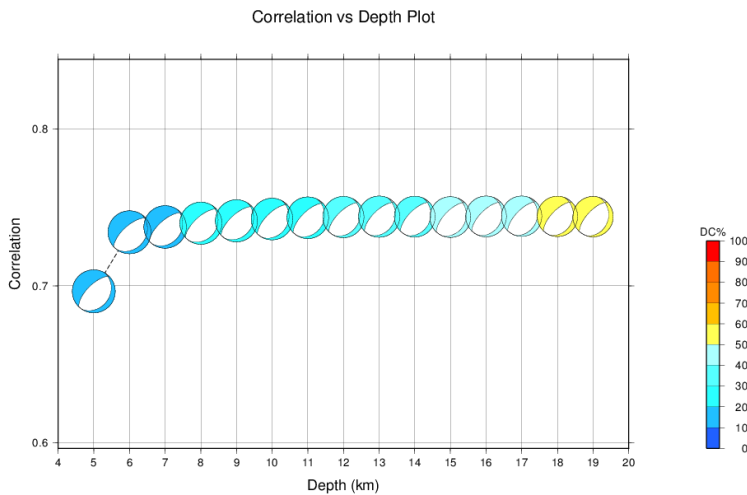
Gambar 15 Kurva event 11-12-2016 origin time 02:50:34.



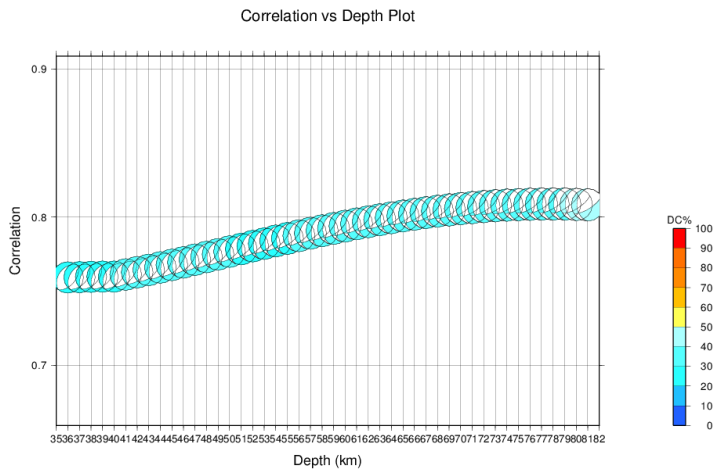
Gambar 16 Kurva event 09-12-2016 origin time 09:49:02.



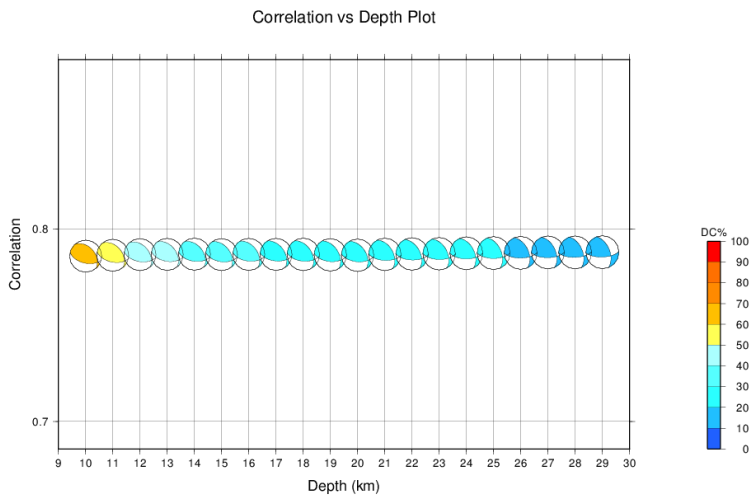
Gambar 17 Kurva event 06-12-2016 origin time 22:03:33.



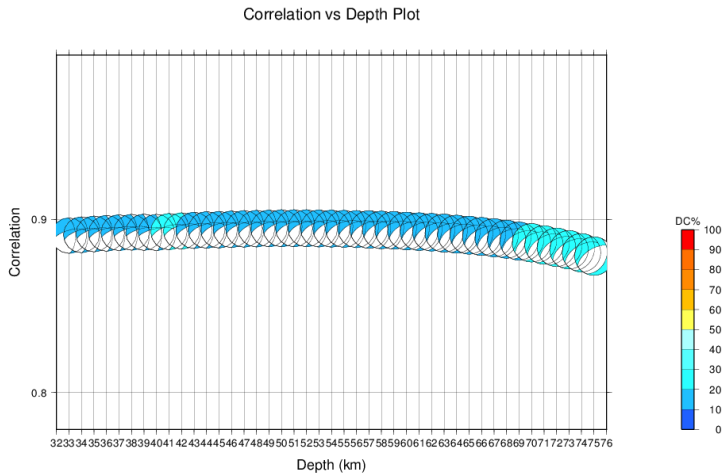
Gambar 18 Kurva event 04-11-2016 origin time 23:26:44.



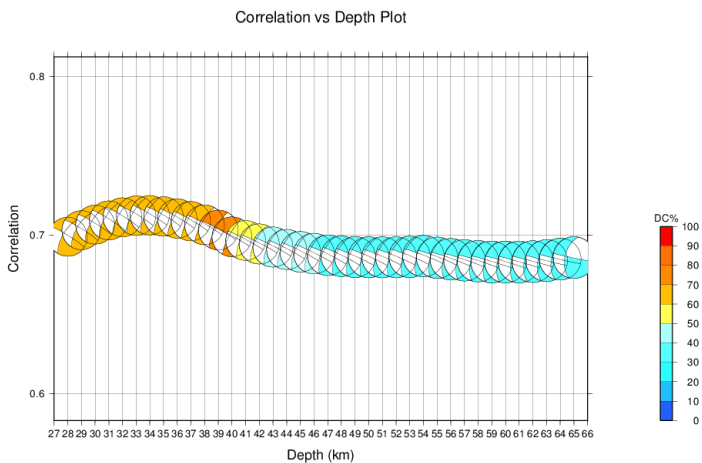
Gambar 19 Kurva event 09-12-2016 origin time 15:13:00.



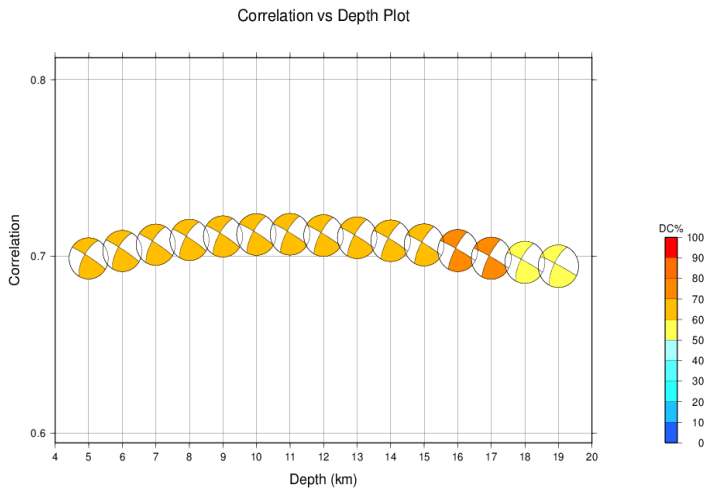
Gambar 20 Kurva event 11-09-2016 origin time 15:35:06.



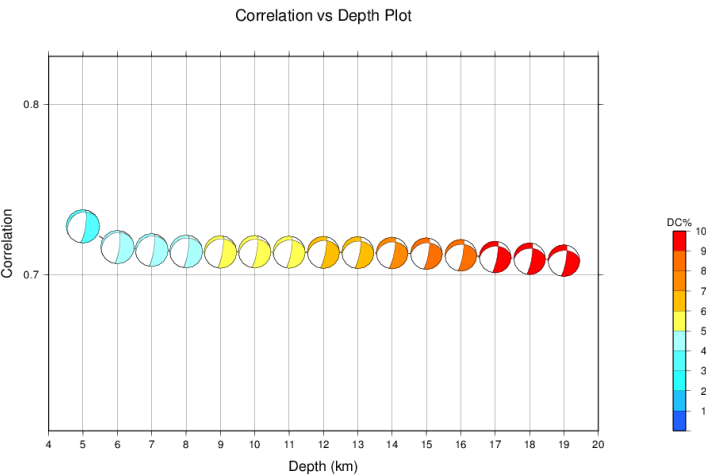
Gambar 21 Kurva event 01-09-2016 origin time 20:04:17.



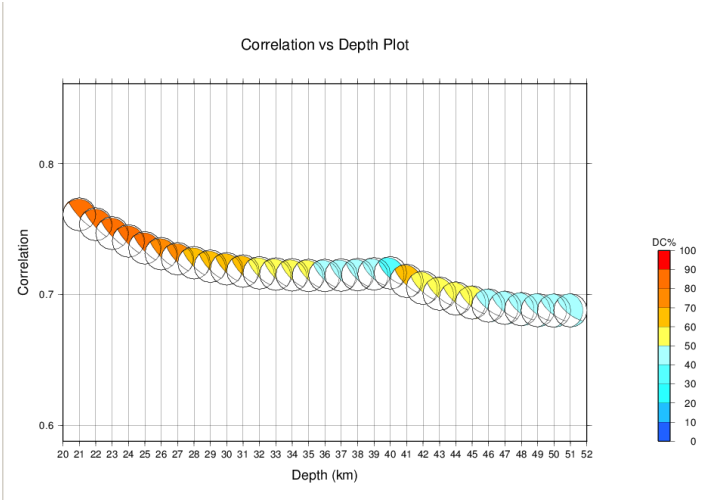
Gambar 22 Kurva event 24-08-2016 origin time 13:48:48.



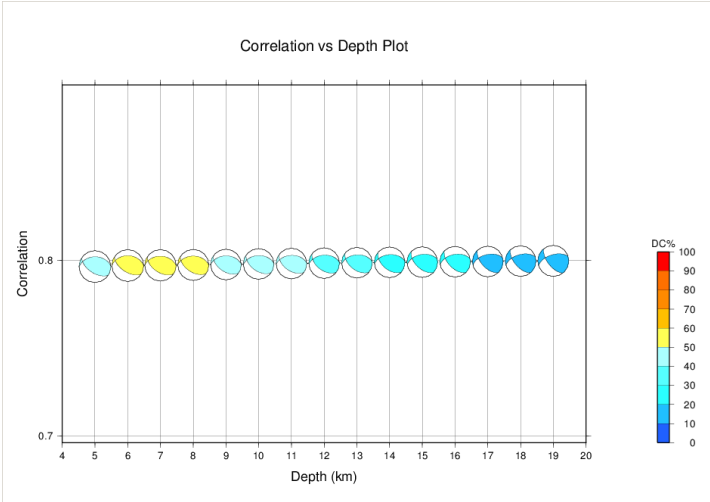
Gambar 23 Kurva event 23-08-2016 origin time 20:29:36.



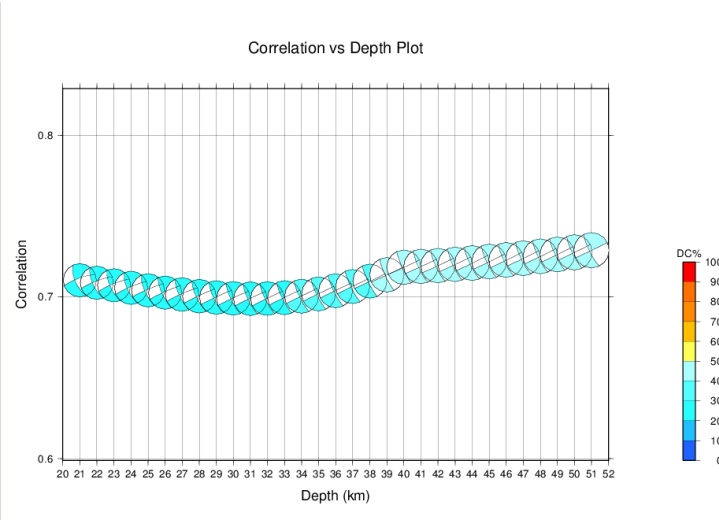
Gambar 24 Kurva event 20-07-2016 origin time 09:31:56.



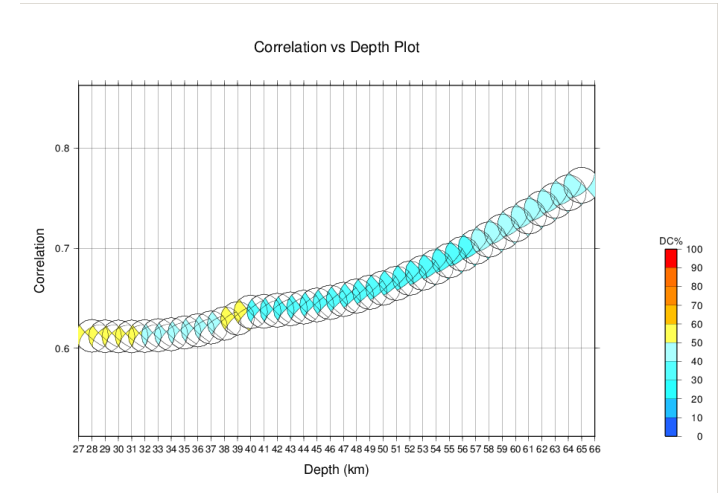
Gambar 25 Kurva event 21-06-2016 origin time 14:10:24.



Gambar 26 Kurva event 16-04-2016 origin time 21:09:13.

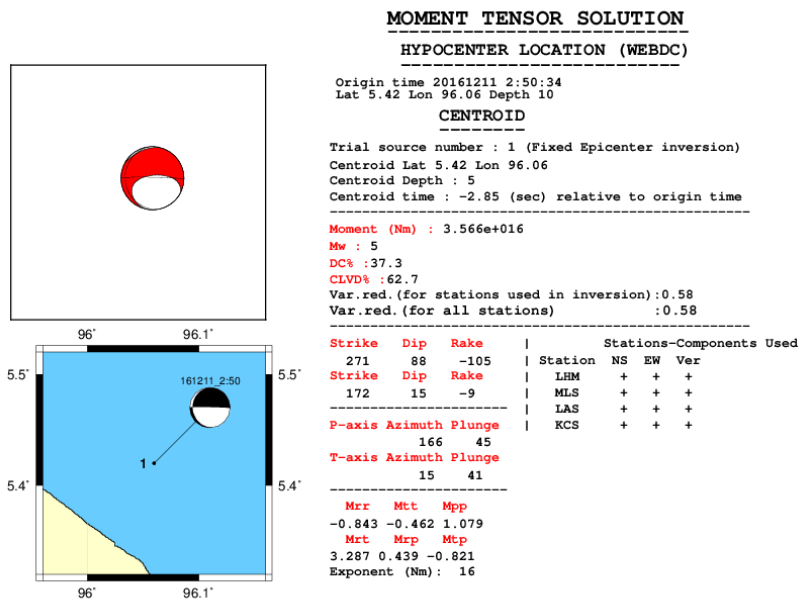


Gambar 27 Kurva event 15-04-2016 origin time 10:24:29.



Gambar 28 Kurva event 19-01-2016 origin time 02:02:07.

Lampiran 3. Nilai Momen Tensor dan Pola *Beachball*



Gambar 29 Momen tensor event 11-12-2016 origin time 02:50:34.

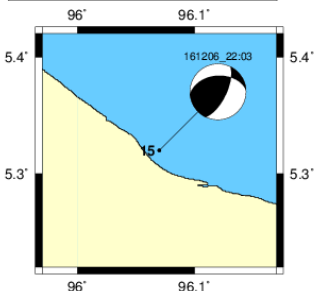
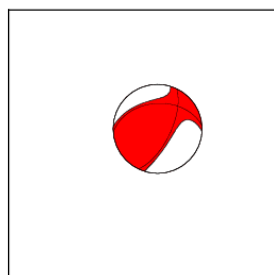
HYPOCENTER LOCATION (WEBDC)

CENTROID

Strike	Dip	Rake		Stations-Components Used			
204	49	0	Station	NS	EW	Ver	
Strike	Dip	Rake		LHM	+	+	+
113	90	139	MLS	+	+	+	
-----			LAS	+	+	+	
P-axis	Azimuth Plunge		KCS	+	+	+	

Mrr Mtt Mpp
 -3.444 -6.665 -1.801
 Mrt Mrp Mtp
 2.687 -0.072 -1.679
 Exponent (Nm): 15

Gambar 30 Momen tensor event 09-12-2016 origin time 09:49:02.



MOMENT TENSOR SOLUTION

HYPOCENTER LOCATION (WEBDC)

Origin time 20161206 22:03:33.00
Lat 5.32 Lon 96.07 Depth 10

CENTROID

Trial source number : 15 (Fixed Epicenter inversion)
Centroid Lat 5.32 Lon 96.07
Centroid Depth : 19
Centroid time : +3 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 1.122e+019

Mw : 6.6

DC% : 79.6

CLVD% : 20.4

Var.red.(for stations used in inversion): 0.54

Var.red.(for all stations) : 0.54

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
26	66	55	LHM	+	+	+
266	42	142	MLS	+	+	+
			LAS	+	+	+
			KCS	+	+	+
P-axis Azimuth Plunge						
	141	14				
T-axis Azimuth Plunge						
	251	55				

Mrr Mtt Mpp

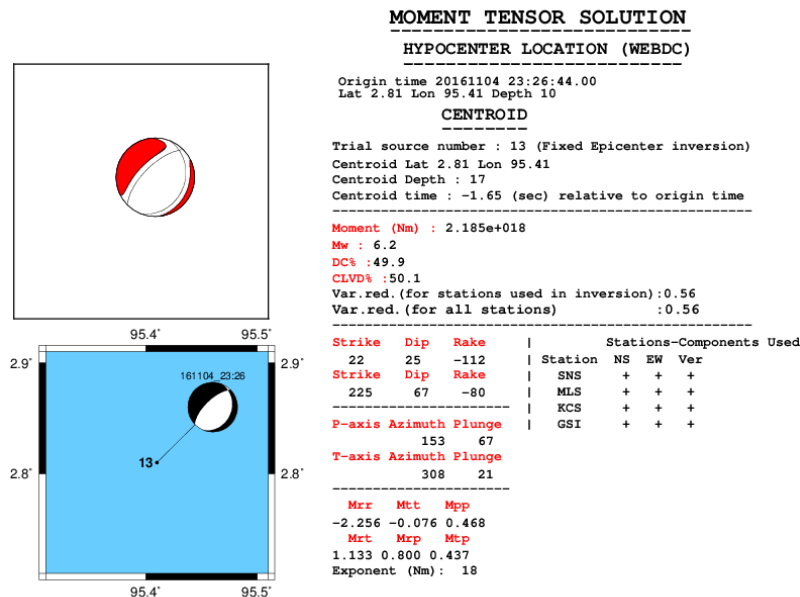
8.403 -4.003 0.836

Mrt Mrp Mtp

0.436 6.319 -6.486

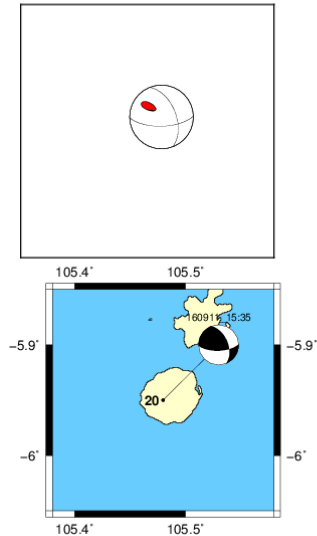
Exponent (Nm) : 18

Gambar 31 Momen tensor event 06-12-2016 origin time 22:03:33.



Gambar 32 Momen tensor event 04-11-2016 origin time 23:26:44.

Gambar 33 Momen tensor event 09-12-2016 origin time 15:13:00.



MOMENT TENSOR SOLUTION

HYPOCENTER LOCATION (WEBDC)

Origin time 20160911 15:35:06.00
Lat -5.95 Lon 105.48 Depth 15

CENTROID

Trial source number : 20 (Fixed Epicenter inversion)
Centroid Lat -5.95 Lon 105.48
Centroid Depth : 29
Centroid time : +0 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 4.227e+016

Mw : 5

DC% :17.5

CLVD% : 82.5

Var.red. (for stations used in inversion):0.62

Var.red. (for all stations)	: 0.62
-----------------------------	--------

Strike	Dip	Rake		Stations-Components Used			
88	66	42		Station	NS	EW	Ver
Strike	Dip	Rake		BLS	+	+	+
339	52	150		KAS	+	+	+
-----				KLI	+	+	+

P-axis Azimuth Plunge

211

T-axis Azimuth Plunge

309

Mrr Mtt Mpp

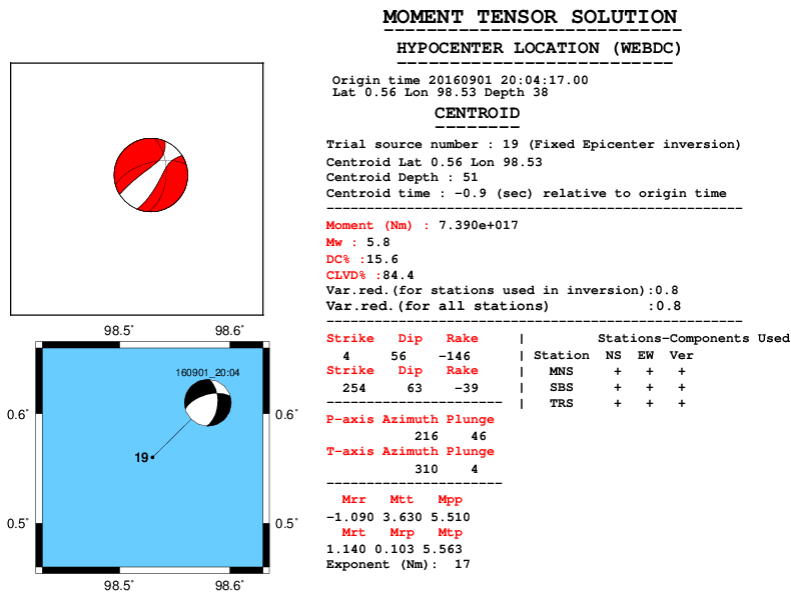
-0.474 -4.315 -1.878

Mrt Mrp Mtp

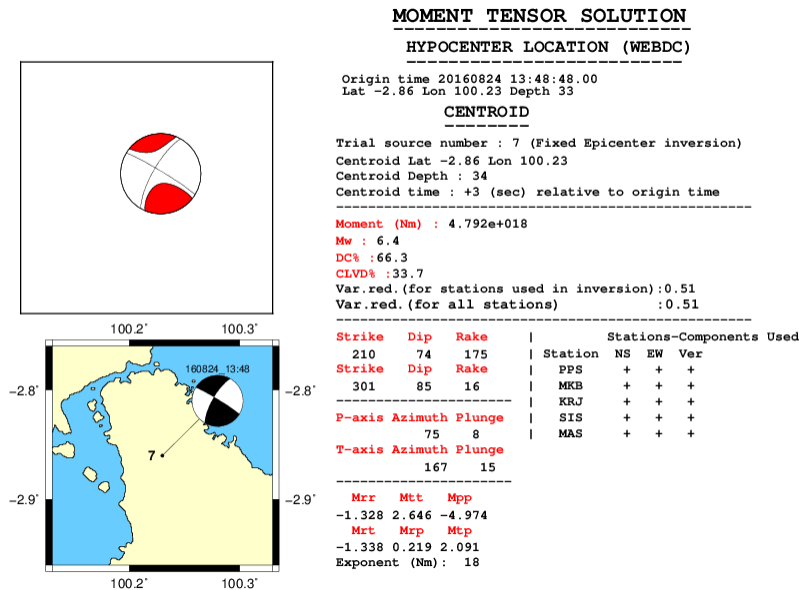
0.951 0.030 2.404

Exponent (Nm) : 16

Gambar 34 Momen tensor event 11-09-2016 origin time 15:35:06.



Gambar 35 Momen tensor event 01-09-2016 origin time 20:04:17.



MOMENT TENSOR SOLUTION

HYPOCENTER LOCATION (WEBDC)

Origin time 20160823 20:29:36.00
Lat -3.53 Lon 99.48 Depth 10

CENTROID

Trial source number : 7 (Fixed Epicenter inversion)
Centroid Lat -3.53 Lon 99.48
Centroid Depth : 11
Centroid time : +3 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 4.792e+018

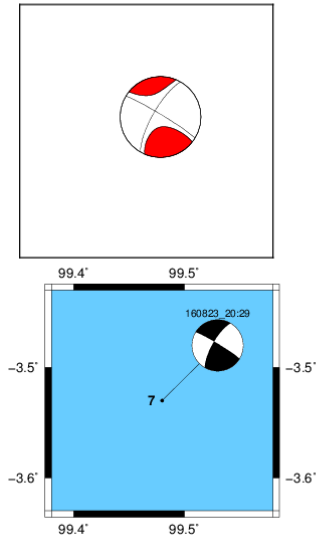
Mw : 6.4

DC% : 66.3

CLVD% : 33.7

Var.red. (for stations used in inversion):0.51

Var.red. (for all stations) : -3.4e+003



Strike	Dip	Rake	Stations-Components Used			
210	74	175	Station	NS	EW	Ver

Strike	Dip	Rake
301	85	16

P-axis Azimuth Plunge

75 8

T-axis Azimuth Plunge

167	15
-----	----

167 15

Mrx Mtt Mpp

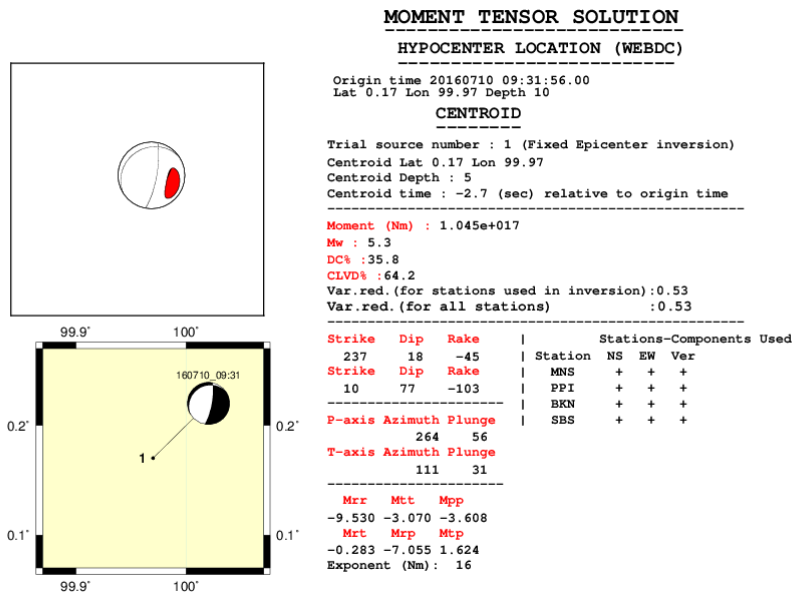
	MLL	MCC	MPP
1	-1.328	2.646	-4.974

Mrt Mrp Mtp

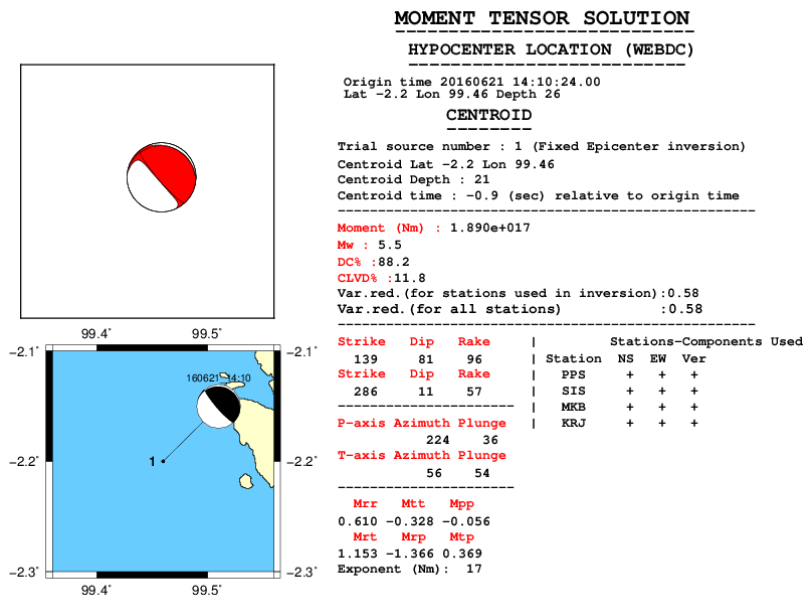
	MLC	MLP	MLP
	-1.338	0.219	2.091

Exponent (Nm): 18

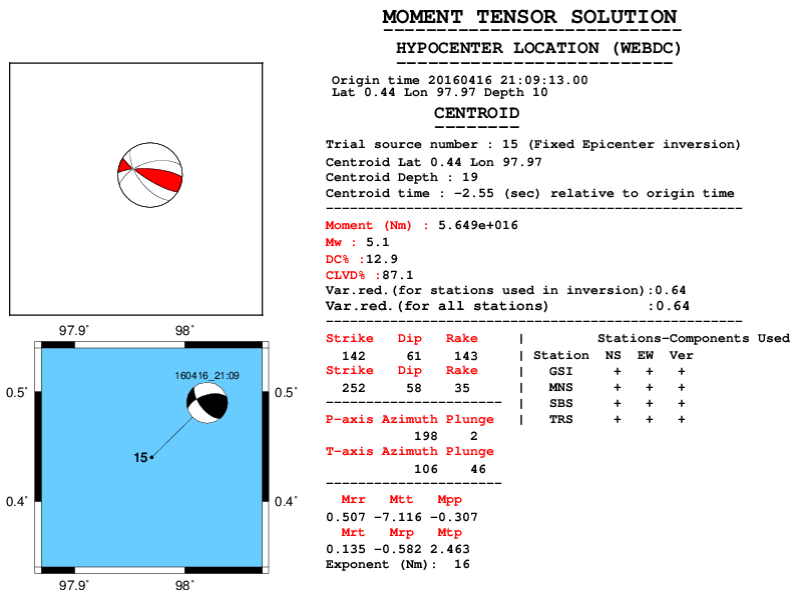
Gambar 37 Momen tensor event 23-08-2016 origin time 20:29:36.



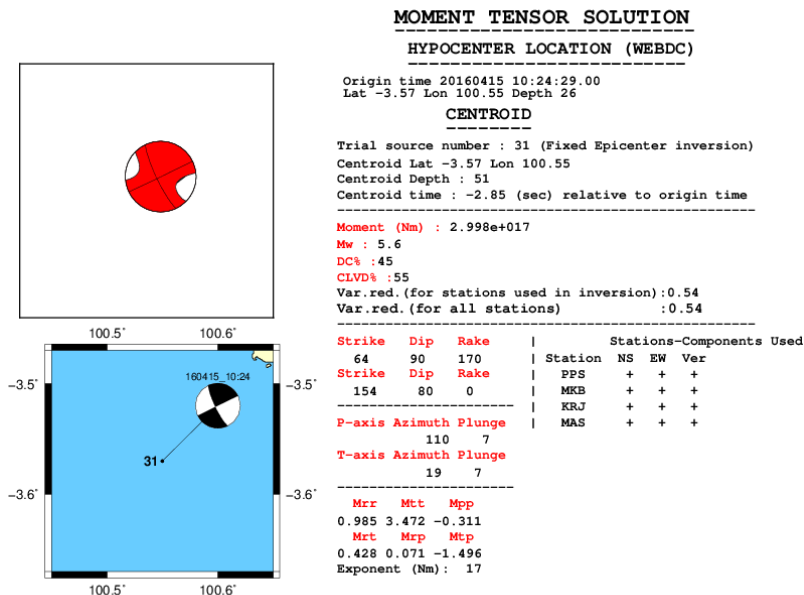
Gambar 38 Momen tensor event 20-07-2016 origin time 09:31:56.



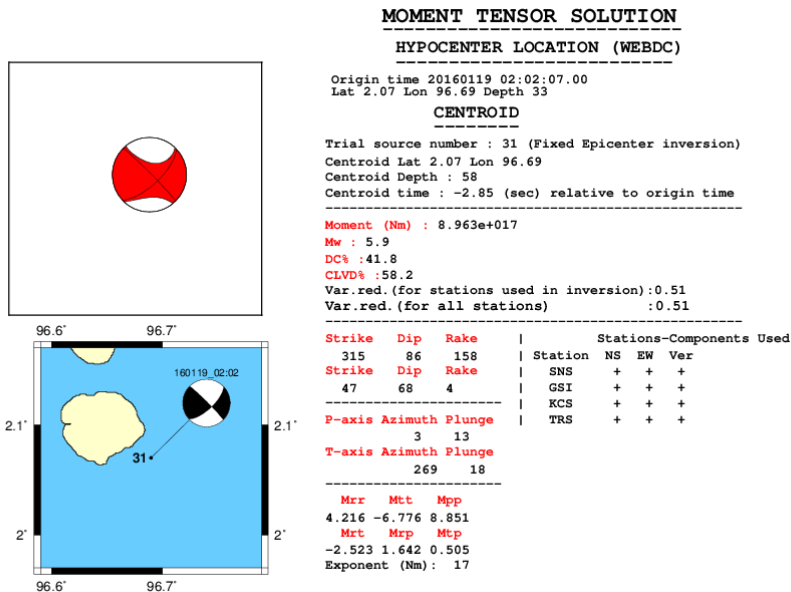
Gambar 39 Momen tensor event 21-06-2016 origin time 14:10:24.



Gambar 40 Momen tensor event 16-04-2016 origin time 21:09:13.



Gambar 41 Momen tensor event 15-04-2016 origin time 10:24:29.



Gambar 42 Momen tensor event 19-01-2016 origin time 02:02:07.

BIODATA PENULIS



Rahmat Ilmi Haqqiqi sebagai penulis merupakan mahasiswa departemen Fisika yang sedang menyelesaikan tahap terakhir pada masa pendidikan perguruan tinggi. Penulis adalah anak ketiga dari tiga bersaudara yang dilahirkan di Kota Mojokerto pada tanggal 2 Juni 1995. Islam merupakan agama yang dipegang teguh oleh penulis sejak kecil hingga akhir hayat. Pendidikan formal yang ditempuh sejak masa kecil penulis antara lain pendidikan dini di TK Al-USmani, lalu dilanjutkan pendidikan dasar SDN Kranggan V, SMP Negeri 4 Kota Mojokerto, kemudian SMA Negeri 1 Puri Kab. Mojokerto, serta sedang dalam perguruan tinggi nasional Institut Teknologi 10 Nopember.

Penulis sangat menyukai kegiatan yang sebagian besar menggunakan ‘otak kanan’. Menggambar dan melukis salah satu hal yang sangat disukai. Beberapa kompetisi dimenangkan dalam parameter regional (Jawa Timur). Bahkan hingga menjadi mahasiswa kegiatan tersebut masih disegani.

Kegiatan keorganisasian juga diikuti oleh penulis. Sejak SMP berkontribusi dalam OSIS, namun ketika masuk SMA hanya sebatas Pramuka dikarenakan program Akselerasi yang ditempuh membatasi kegiatan di luar kelas. Dalam masa perguruan tinggi, penulis berkontribusi dalam Himpunan Mahasiswa Jurusan (HIMASIKA) sebagai staff departemen Perekonomian.

Hal yang menjadi pedoman penulis dalam masa hidupnya ini adalah “**Kebiasaan akan Menentukan Jalan Hidup**”. Dengan motto tersebut, penulis juga berharap dampak yang ditimbulkan dapat menjadi kebermanfaatan bagi sesama manusia.